Grundriß der Physik

nach ihrem gegenwärtigen Standpunkte

von

Ph. Spiller.

Mit 249 Figuren.

Posen,
in Commission bei E. S. Mittler.
Berlin,
in Commission bei E. S. Mittler & Sohn.

1853.

An die Freude über das, was wir besitzen, knüpft sich die Hoffnung auf immer reichere Kenntnisse, auf immer vollendetere Einsicht in die Natur, die, nie erschöpft, dem Menschengeschlechte immer neue Wunder darbieten wird.

Posen, gedruckt bei W. Decker & Comp.

Vorwort.

Die Physik ist bis in die neuesten Zeiten auf Gymnasien, als rein wissenschaftlichen Anstalten, wohl vorzüglich deßhalb so stiefmütterlich bedacht gewesen, weil man sich, ohne ihre praktische Wichtigkeit zu verkennen, von ihr als Unterrichtsgegenstand nicht den entsprechenden Nutzen für die formale Geistesbildung versprach. Und in der That bieten nicht wenige unserer gangbarsten Schulbücher nur ein Konglomerat alles dessen dar, was man im Gebiete der Physik entdeckt hat. Einzelne Parthieen, namentlich die älteren Ursprunges, tragen allerdings den Charakter eines wissenschaftlich abgerundeten Ganzen mehr oder weniger an sich, aber in den neueren Untersuchungen fehlt haüfig noch ein bis ins Kleinste klar durchdachtes System und ein logischer Entwickelungsgang. Recht auffallend wird man dies gewahr, wenn man sich einer leichteren Übersicht wegen Auszüge macht. Manche von den Büchern, welche man Schülern in die Hände giebt, sind überhaupt allzu oberflächlich, andere für sie zu schwierig; in sehr vielen werden die Lehren der Physik als etwas äußerlich Gegebenes vorgetragen; Gesetze, von denen der Schüler in voraus keine Ahnung hat, werden genannt und ihre Wahrheit erst nachträglich bewiesen oder blos bestätigt oder wohl auch gar nicht weiter begründet; da-

bei sind die Beweise nicht selten zu weitlaüfig oder für Anfänger zu schwierig oder selbst fehlerhaft; man wirfelt die Erscheinungen oft so unter einander, daß man sich genöthigt sieht, zu ihrer Begründung auf spätere Abschnitte zu vertrösten und wenn man dann dazu kommt, so ist es zu thun verabsaümt worden oder es geschieht ungenügend. Der Schüler wird auf diese Weise wie mit verbundenen Augen an der Hand des Lehrers einem Ziele entgegen geführt, was er nach seiner Erreichung zwar nicht selten anzustaunen Gelegenheit hat, wobei er aber auf den durchlaufenen Weg nur wie im Traume zurück sieht. Experimente mit Knalleffekten fesseln sein Interesse weit mehr, als eine Schritt für Schritt klare Untersuchung über die Grundursachen bereits beobachteter Erscheinungen (analytischer Weg) oder über die aus jenen durch Naturnothwendigkeit folgenden Veränderungen in der Körperwelt (synthetischer Weg).

Soll der Unterricht aber für die tiefere Entwickelung und Erkräftigung des jugendlichen Geistes fruchtbar werden, so muß nicht nur die Anordnung des Stoffes bis ins Kleinste einen streng wissenschaftlichen Charakter an sich tragen, sondern es muß auch eine heuristisch-genetische Behandlungsweise mit möglichst einfachen Mitteln den Schüler einen klaren und möglichst tiefen Blick in das Naturleben thun lassen, so daß er mit Selbstbewußtsein gründlich die Erscheinungen zu verfolgen im Stande ist. — Wenn auf diese Weise die ganze Physik einer streng wissenschaftlichen Behandlung unterworfen wird, so muß sie nicht weniger wie durch ihren Inhalt so durch ihre Form eines der fruchtbarsten Bildungsmittel werden. Nichts fesselt die Jugend so sehr, als die Natur in ihrer unendlichen Mannigfaltigkeit; man ergreife also nur die rechten Mittel und die besten Folgen können nicht ausbleiben. Die Naturerscheinungen sind

zwar oft äußerst verwickelt, aber die Naturkräfte sind höchst einfach. Die allgemeine Massenanziehung und die Molekularkräfte bilden die beiden Hauptfaktoren für die Zustände des Gleichgewichtes und der Bewegung, auf welche sich alle Erscheinungen zurück führen lassen. Der Triumph der Wissenschaft besteht nun darin, die letzteren als einen Ausdruck der aus den Naturkräften sich ergebenden Gesetze zu erkennen.

Nach dem Angeführten wird man sich wahrscheinlich berechtigt glauben an mein Buch einen strengen Maßstab anzulegen. Wenn ich mich nun auch bestrebt habe, in die gerügten Fehler nicht zu verfallen, so habe ich doch alle Ursache um geneigte Nachsicht zu bitten, weil ich es selbst für eine sehr schwierige Aufgabe ansehe, aus der ungeheuren Masse des Materiales den Kern heraus zu suchen; sodann den Stoff so zu ordnen, daß jedes Element an seinem Platze ist und keine Erscheinung, im Kleinen wie im Großen, angeführt wird, deren scharfe Begründung nicht durch bereits Bekanntes vollständig gesichert erscheint; ferner eine geistbildende wissenschaftliche und doch dabei möglichst populäre Methode des Vortrages festzuhalten und endlich die Gesetze und Erscheinungen der Natur in einer einfachen und klaren Sprache darzustellen.

Ich hielt es im Interesse des Lesers für wichtiger, an den geeigneten Stellen eine große Anzahl von Beispielen, theils als Prüfsteine für die Sicherheit der erlangten Kenntnisse, theis zur Hinweisung auf die umfangreiche praktische Fruchtbarkeit der Wissenschaft anzuführen, als mich mit der historischen Seite der Physik zu befassen, welche selbst bei einer sehr fragmentarischen Behandlungsweise noch viel Raum in Anspruch genommen haben würde. Überhaupt wird der eifrige Lehrer noch so Manches zwischen den Zeilen zu lesen haben, weil ich ja nur einen Leitfaden

schrieb. Ich glaube aber, daß nichts irgend Wichtiges oder Interessantes, was nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft als Thatsache feststeht, unberührt geblieben ist. Format, Druck und, wie ich hoffe, auch die Darstellung sind so gehalten, daß der beschränkte Raum einen sehr reichhaltigen Stoff umfaßt. Dabei ist der Preis von 1 Rthlr. ein außerordentlich mäßiger. Die Zeichnungen sind absichtlich möglichst einfach entworfen. — Über den befolgten Plan des Ganzen giebt das Inhaltsverzeichniß einigen Aufschluß; mit seiner Hilfe wird sich Jeder im Buche leicht orientiren. Von der zweiten Abtheilung gehört der erste Abschnitt eigentlich hinter den dritten.

Posen, im Juni 1852.

Ph. Spiller,
Gymnasial-Oberlehrer.

Inhaltsverzeichniß.

Einleitung.

Fünfter Abschnitt: von der Wärme.

Einleitung.

Ein Blick um uns und überhaupt jede sinnliche Wahrnehmung zeigt uns Körper, die entweder durch Naturkräfte oder mit Hilfe der Menschenhand entstanden sind; jene heißen **Naturprodukte** oder **Naturkörper**, diese **Kunstprodukte im weiteren Sinne**.

Die Erzeugnisse der Menschenhand, meist dargestellt mit Benutzung von mancherlei einfachen und zusammengesetzten Werkzeugen (Maschinen) befriedigen entweder nur die Bedürfnisse des bürgerlichen Lebens (technische) oder bezwecken die Nachahmung und Darstellung des Schönen in der Natur und Idee und heißen dann **Kunstprodukte im engeren Sinne**.

Die Naturerzeugnisse gehören theils unserer Erde an: **irdische** oder **Erdkörper**; theils befinden sie sich fern von ihr im übrigen Himmelsraume: **überirdische** oder **Himmelskörper**.

Die Wissenschaft, welche sich mit der Erkenntniß aller Naturerzeugnisse beschäftigte und den Zusammenhang zwischen den mannigfaltigen Veränderungen derselben untersuchte, würde die **Naturwissenschaft** im weitesten Sinne des Wortes sein. Ihr großer Umfang macht aber eine Eintheilung nothwendig, die sich theils auf die Verschiedenheit der Körper, theils auf die Art ihrer Betrachtung bezieht.

Unter den irdischen Körpern treten uns

1) jene starren und scheinbar todten Körper entgegen, welche keinerlei periodisch regelmäßigen von Innen hervorgehenden Veränderungen zeigen und einer Vergrößerung nur durch Ansetzen gleichartiger Bestandtheile von außen fähig sind: die **unorganischen Körper**;

2) erblicken wir Körper, welche durch Aufnahme fremdartiger Stoffe in ihr Inneres bestehen, sich vergrößern, indem sie jene Stoffe in sich verwandeln zu dem, woraus sie selbst zusammengesetzt sind und endlich ihre Gattung wieder erzeugen oder reproduziren: die **organischen Körper**.

a) Die organischen Körper nehmen ihre Nahrung entweder durch eine Menge von kleinen Öffnungen aus dem Erdboden und der Luft in sich auf und sind ohne freie Bewegung: die **Pflanzen**; oder

b) sie nehmen ihre Nahrung vorzüglich durch eine Hauptöffnung (Mund) in sich auf und besitzen eine durch freien Willen geleitete Bewegung: **Thiere**.

Daraus ergeben sich verschiedene Zweige der Naturwissenschaft im engeren Sinne.

A. Wenn die irdischen Naturkörper nach ihren äußeren Merkmalen untersucht werden, so ist dies die Naturbeschreibung im engeren Sinne. Sie zerfällt

1) in die Mineralogie für die unorganischen Körper,
2) in die Botanik für die Pflanzen und
3) in die Zoologie für die Thiere.

B. Wenn man aber die Körper nach den Stoffen, aus denen sie zusammengesetzt sind, untersucht, so ist dies die analytische Chemie (organischer und unorganischer Körper); setzt man aber aus einfachen Stoffen oder Elementen Körper zusammen, so ist dies die synthetische Chemie.

C. Wenn man auf den inneren Bau, welcher die äußere Form bedingt und auf die Anordnung der Theile zur Bildung des Ganzen Rücksicht nimmt, so giebt dies für die unorganischen Körper die Krystallographie, für die organischen die Anatomie der Pflanzen und Thiere.

D. Ferner kann man die Thätigkeit der verschiedenen Werkzeuge (Organe) der Ernährung, Erhaltung, Wiedererzeugung in den verschiedenen Körpern untersuchen und dies giebt die Physiologie der Pflanzen und Thiere. — Wie lange die Organe des Pflanzen- und Thierkörpers in Thätigkeit sind, so lange lebt derselbe; mit dem Aufhören derselben tritt ihr Tod ein und ihre Masse ist nur den Gesetzen der unorganischen Körper unterworfen.

E. Alle Körper, sowohl die unorganischen als auch die organischen, letztere insofern sie als todte Organismen betrachtet werden, üben auf einander verschiedene äußere Einflüsse aus und versetzen einander in verschiedene Zustände, selbst ohne daß sie ihr Wesen aufgeben. Dabei findet man, daß genau dieselben Umstände auch dieselben Erscheinungen darbieten, daß also in der Natur Alles nach gewissen Gesetzen geschieht. Die Untersuchung dieser äußeren unter bestimmten Bedingungen stets wiederkehrenden Veränderungen (Zustände) der Körper und die Aufsuchung des äußeren Zusammenhanges derselben oder der Gesetze, nach denen sie erfolgen, bilden den Stoff der Physik.

Die Naturgesetze lernt man meistens durch Erfahrungen kennen, welche man theils aus Beobachtungen der in der Natur ohne unser Zuthun sich ergebenden Erscheinungen, theils aus Versuchen sammelt, indem man die verschiedenen Körper in mancherlei Beziehungen setzt und sie nöthigt, gewisse Erscheinungen hervorzubringen. Die Erklärung der Naturerscheinungen ist ihre Zurückführung auf die Naturgesetze, welche theils aus einer Reihe von Erscheinungen gefolgert, theils vorausgesetzt und nachträglich durch die Erscheinungen zu bestätigen gesucht werden. Alle Naturgesetze setzen eine innere Nothwendigkeit voraus, welche die Ursache der Erscheinungen ist, aber über das Wesen dieser ursächlichen Kräfte können wir nur Vermuthungen oder Hypothesen aufstellen. Je mehre Erscheinungen sich durch eine Hypothese erklären lassen, desto sicherer wird sie. Tritt aber ein hypothetisches Gesetz mit irgend einer Erfahrung in Widerspruch, so ist es unhaltbar.

F. Die Naturwissenschaft hat außerdem noch eine geschichtliche Seite. In den Gebirgen der gemäßigten und kalten Zonen findet man tief unter der Erdoberfläche ganze Waldungen versteinerter Palmen oder riesiger Farrenkraüter; man hat in diesen Zonen Überreste kollosaler Thiere gefunden, deren Gattungen entweder gar nicht mehr vorhanden sind oder von denen ähnliche Formen jetzt nur in den heißen Zonen vorkommen; man sieht ganze Lager von Schalthieren, die nur auf dem Meeresgrunde leben konnten, jetzt noch auf und an den höchsten Bergen oder tief in Binnenländern. Welche großartigen Revolutionen muß also unser Erdkörper überstanden haben! Ihre Untersuchung gehört in die Geologie, welche durch die Geognosie mit ihren Hilfswissenschaften, wozu natürlich auch die Geographie gehört, vorbereitet wird.

Aber nicht blos Pflanzen und Thiere vergehen und unorganische Stoffe zerfallen und verwandeln sich in kürzeren Zeitraümen; nicht blos die Erde durchlauft Stufen der Entwickelung, begleitet von Vernichtung und Wiedererzeugung; sondern auch Himmelskörper im übrigen Weltenraume entstehen und vergehen, nachdem sie mancherlei Verwandlungen erlitten haben in großartigen Weltepochen, welche wir mit unseren beschränkten Maßstäben zu messen nicht im Stande sind. Die physische Astronomie weiset auf diese Untersuchungen hin, welche gewissermaßen den Schlußstein zu dem obigen Gebäude aus den verschiedenen Zweigen der Naturwissenschaften bilden.

Erster Theil.

Eigenschaften der Materie.

Die Naturkörper machen auf unsere Sinne einen Eindruck entweder durch ihren Stoff oder durch den Zustand, in welchem sich derselbe befindet oder in welchen er einen anderen setzt. Der Zustand ist von dem Stoffe nicht unabhängig, wenn ihn unsere Sinne wahrnehmen sollen; manche Zustände sind ohne Materie denkbar, manche dagegen können gar nicht abstrakt gefaßt werden. Wir wollen zunächst die Körper selbst und dann ihre Zustände betrachten.

Die Körper haben als solche Eigenschaften, die entweder den verschiedenen Körpern in einem verschiedenen Grade zukommen, untergeordnete, für deren Erkennen uns durch die Erfahrung Gränzen gesteckt sind oder solche, die allen Körpern ohne Ausnahme zukommen müssen, nothwendige.

I. Untergeordnete Eigenschaften.

1) Die Theilbarkeit. Ein Körper läßt sich in kleinere Körper derselben Art zerlegen oder er ist theilbar. Die Zerlegung oder Auflösung in Theile geschieht entweder durch besondere von Menschen angewendete Vorrichtungen, d. i. die mechanische Theilung zu technischen Zwecken, wobei der Widerstand des Körpers gegen die Theilung durch aüßere Mittel überwunden werden muß, oder sie geschieht ohne jene Mittel durch die eigenthümlichen oder natürlichen Eigenschaften der Körper, d. i. die natürliche Theilung und nur diese kann über alle Gränzen der sinnlichen Wahrnehmung fortgeführt werden.

Wenn uns das Gefühl keine Theile mehr erkennen läßt, so zeigt sie uns das (wenn auch von Instrumenten unterstützte) Gesicht und noch kleinere Theile der Geschmack- oder auch der Geruchssinn, welcher bei manchen Thieren noch weit vollkommener, als beim Menschen, ja bis zu einem wunderbaren Grade ausgebildet ist.

Einzelne Fäden von gewöhnlicher Wolle (mit einem Durchmesser von 0,02'''), von Merino (0,008''' Durchm.) oder von Seide (0,004''' D.) kann man wohl noch fühlen, aber nur durch das Gesicht nimmt man ihre verschiedenartige Struktur wahr. — Ein Spinnenfaden ist aus sehr vielen (Tausenden) einzelnen Fäden zusammengesetzt. — Ein Faden eines Seidenwurms von 200 Ellen wiegt etwa einen Gran. Man hat einen Silberdraht von 22'' Länge und $1\frac{1}{4}$''' Durchmesser mit einer Unze Gold überzogen, ihn zu einem Faden von 60 geogr. Meilen ausgezogen, ihn durch Walzen breit gedrückt, so daß er noch um 8 Meilen länger wurde und dennoch besaß er noch einen Goldüberzug, dessen Dicke $\frac{1}{5912}$''' beträgt, so daß mehr als 710000 solcher Blättchen erst die Dicke eines Zolles geben. — Frauenhofers Eintheilung einer pariser Linie auf Glas in 1000 bis 3000 gleiche Theile. — Wollaston goß um einen Platindraht von 0,01'' englisch Maß einen Silberzylinder von $\frac{1}{5}$'' Durchmesser und zog ihn durch Drahtzüge zur möglichsten Feinheit aus, löste dann das Silber in kochender Salpetersaüre auf und bekam so einen Platindraht von $\frac{1}{3000}$ Linien Dicke, deren etwa 140 die Dicke eines Kokonfadens geben. — Einen Gran Gold schlägt man zu einer Fläche von 36 Quadratzollen aus. — Die Polirmittel, wodurch man Metallen und Edelsteinen spiegelnde Flächen giebt, bestehen aus feinen Körnchen, welche bei ihrer Anwendung eigentlich feine Ritzen hervorbringen; diese sind aber so zart, daß man sie nicht fühlen und mit bloßen Augen auch meist nicht sehen kann. — Die Theile des Wassers und jeder anderen Flüssigkeit sind weder durch das Gefühl noch durch das Gesicht zu erkennen. — Im Blute entdeckt man durch Vergrößerungsgläser eine große Menge von Kügelchen, welche in einer Flüssigkeit, dem Serum, schwimmen und nach Verschiedenheit der Thiere einen Durchmesser von $\frac{1}{312}$ bis $\frac{1}{875}$ Linien und verschiedene Formen haben. — Die verschiedenen Infusionsthierchen mit ihren Organen der Bewegung und Ernährung. In einem Kubikfuß Trippel (auch Polirschiefer) nimmt Ehrenberg 40,000 Millionen solcher Thierchen an. — Die Flüssigkeit in den Därmen der Frösche enthält auch unzählige Infusorien. — Auf dem Probirsteine kann man die verschiedenen Legirungen der edlen Metalle noch deutlich durch das Gesicht unterscheiden. — Farbestoffe, wie Dinte, Koschenille, Indigo, Zinnober (der aus zwei trennbaren, aber durch das Gesicht nicht zu unterscheidenden Stoffen: Schwefel und Quecksilber, besteht) zeigen die Theilbarkeit in einem hohen Grade. Ein Gran Karmin färbt 10 Pfd. Wasser noch bemerklich. — Homöopathische Arzeneien. Quassiabecher sind im Stande jahrelang die aus ihnen genossenen Getränke bitter zu machen, ohne daß man in ihnen fremdartige Theile erkennt. — Riechende Substanzen, wie Blumen, ätherische Öle, Moschus, Weihrauch, Kampher u. drgl. wirken nur dadurch auf unseren Geruchssinn, daß sich von ihnen Partikelchen ablösen. — Geruchssinn bei Jagdhunden.

Wenn auch die Theilbarkeit weit über unsere sinnlichen Wahrnehmungen hinausgeht, so darf man doch nicht annehmen, daß sie bis ins Unendliche gehe, weil man so auf Theilchen käme die Null wären und keine Ausdehnung hätten, also auch durch ihre Zusammensetzung unmöglich einen raümlich ausgedehnten Körper geben würden. Man muß also annehmen, daß jeder Körper aus untheilbaren Urtheilchen besteht, die man Atome nennt, während sehr kleine Theile überhaupt Moleküle, Massentheile, heißen. Sind Körper wesentlich von einander verschieden, so muß man auch annehmen, daß die Natur ihrer Atome verschieden ist. Die meisten Körper sind trotz ihres gleichartigen Aussehens aus verschiedenar-

tigen Atomen zusammengesetzt und heißen dann **chemisch zusammengesetzte**, während diejenigen, welche sich nicht weiter in verschiedenartige Bestandtheile zerlegen lassen, **einfache Körper**, Grundstoffe, Elemente genannt werden. Bis jetzt kennt man 54 Elemente.

2) **Preßbarkeit, Ausdehnbarkeit.** Eine bestimmte Materie nimmt nicht immer einen Raum von derselben Größe ein, sondern ist fähig sich auf einen kleineren zu beschränken, sie ist **preßbar**, oder einen größeren einzunehmen, sie ist **ausdehnbar**.

Die in einem auf Wasser umgestürzten Glase enthaltene Luft wird durch den Druck des Glases abwärts zusammengepreßt, ebenso die Luft in einer Taucherglocke. — Das Metall nimmt bei der Prägung zu Geld durch einen heftigen Druck das Gepräge an und verkleinert so seinen Raum. — Verfertigung erhabener Figuren auf Leder, Horn, Holz. Manche Körper sind nur äußerst schwierig preßbar, oder sie besitzen eine große abstoßende Kraft. — Werden Metallkörper, Luft u. a. abgekühlt, so vermindert sich ihr Raum. Die entgegengesetzten Ursachen, nämlich die Erwärmung und Spannung, bringen auch die entgegengesetzte Wirkung, nämlich Vergrößerung des Rauminhaltes hervor.

3) **Porosität.** Da die Materie die Fähigkeit besitzt den von ihr eingenommenen Raum, das Volumen, zu vergrößern und zu verkleinern, so muß man annehmen, daß ihre Atome nicht in unmittelbarer Berührung stehen, sondern durch Zwischenräume getrennt sind, welche man **Poren** nennt. Diese Poren sind oft so groß, daß sie dem bloßen Auge sichtbar werden; aber wenn auch dieses nicht der Fall ist, so ist man noch nicht zu dem Schlusse berechtigt, daß die Porosität nur einzelnen Körpern angehöre.

Verschiedene Steinarten nehmen bald mehr, bald minder leicht Feuchtigkeiten in ihre Poren auf: Kreide wird leicht, Marmor schwer (von Firniß doch bis zu einer ziemlichen Tiefe) durchdrungen; der Hydrophan wird dadurch wie Glas durchsichtig; ebenso Papier mit Öl getränkt; das Filter des Chemikers läßt Flüssigkeiten, nicht aber die in ihnen schwebenden oft äußerst zarten anderen Körpertheilchen durch. — In tiefen Höhlen der Erde schwitzt durch die Poren des Gesteins die Feuchtigkeit und es bilden sich die wunderlich gestalteten Stalaktiten. — Eine mit Wasser angefüllte Kugel von Gold läßt das Wasser in zarten Thautröpfchen durch, wenn sie einem starken Drucke ausgesetzt wird. — Hermetisch verschlossene und in eine Tiefe von 1150′ ins Meer herabgesenkte Glaskugeln hat man mit Wasser erfüllt gefunden. — Die verschiedenen Thier- und Pflanzenkörper haben auf ihrer Oberfläche und im Innern viele Poren. Bei der Bildung der Petrefakten durchdringen mineralische Stoffe den ganzen abgestorbenen organischen Körper. Man schätzt die Anzahl der Poren auf einem Quadratzolle der Haut des Menschen auf 1000, also auf 15 Quadratfuß bei einem erwachsenen Menschen gegen zwei Millionen. — Ausdünstung durch die Poren; Einsaugung von Feuchtigkeit aus der Luft; nach einem Bade ist man schwerer; Wirkung der Salben und Einreibungen. — Aus Holz unter Wasser und aus dem Wasser selbst steigen Luftblasen, besonders bei Verminderung des äußeren Druckes; durch die Poren des Holzes kann Quecksilber oder Wasser getrieben werden. — Durch die Poren unglasurter Gefäße aus gebranntem Thon dringt das darin befindliche Wasser (Kühlgefäße). Wasser nimmt Salz, Zucker, Weingeist, Luft in seine Poren auf, ohne daß sein Volumen dadurch um das Volumen des anderen Körpers vergrößert wird; ebenso nimmt eine Luftart eine andere in sich auf. — Holz schwindet bei trockener, quillt an bei feuchter Witterung und nimmt im Wasser namhaft an Gewicht zu.

4) **Elastizität.** Wenn die einzelnen nicht getrennten Theile eines bestimmten Körpers entweder durch Pressung oder Ausdehnung oder überhaupt durch irgend eine die Form des Ganzen verändernde Kraft gewalt-

sam aus ihrer natürlichen Lage gebracht werden, so kehren sie, wenn die äußere Einwirkung aufhört, oft von selbst durch eine größere oder geringere Reihe schwingender, innerhalb gewisser Gränzen stattfindender Bewegungen, Oszillationen, in ihre frühere Lage zurück, bis der Körper endlich wieder seine ursprüngliche Form erlangt. Dies ist die Eigenschaft der Elastizität. Man kann sie untersuchen an linienförmigen, flächenförmigen und massenförmigen Körpern. Die Schwingungen selbst können verschiedene Richtungen gegen die Dimensionen des Körpers haben.

Metalldrähte, Haare, Darmsaiten, Stahlstäbe, Glasfäden, Holzstäbe (Armbrüste, Katapulten, Ballisten); Metall-, Glas-, Leder- und andere Scheiben; Kugeln von Federharz oder Kautschuk, von Elfenbein, Fischbein, Marmor, Gußeisen, Luft u. s. w. Man kann die Körper drücken (expansive E.) oder ausdehnen (attraktive E.).

Drähte und Stäbe von Metall, welche man spannt und dadurch verlängert, sind innerhalb gewisser Gränzen vollkommen elastisch und ihre Verlängerung steht mit den spannenden Kräften in gleichem Verhältnisse. Dabei vergrößert sich ihr Volumen. Wenn die Länge von 1 um a zunimmt, so wird der Durchmesser im Verhältnisse $1 - \frac{a}{4}$ kleiner. — Wird ein an dem einen Ende befestigter und an dem andern Ende beschwerter Draht um seine Axe gedreht, so kehrt er mit einer der drehenden Kraft proportionalen Geschwindigkeit durch eine Reihe von Drehungen in seine frühere Gleichgewichtslage zurück.

Anwendung der Elastizität als Kraft z. B. bei den Federn an Schlössern, den Klappen verschiedener Blasinstrumente, der Uhren, der Wagen u. s. w., ferner zum Messen der Kräfte

II. Nothwendige Eigenschaften.

1) Ausdehnung. Die Körper nehmen mit ihrer Materie einen gewissen Ort im Raume ein, welcher eine nach drei entgegen gesetzten Richtungen gehende Ausdehnung besitzt, so unbedeutend auch bisweilen eine (Mohnblatt, Goldschlägerhaut) oder zwei von ihnen (Spinnenfäden) oder auch alle drei (Sonnenstaübchen) sein mögen.

Um eine bestimmte Vorstellung von der Größe der Ausdehnungen oder Dimensionen zu bekommen, wird eine Linie von bestimmter Ausdehnung als Maßeinheit angenommen. Der funfzehnte Theil eines Äquatorial-Grades heißt eine geographische Meile; sie zerfällt in 2000 Ruthen, von welcher nun 10 oder 12theilige Unterabtheilungen (Dezimal-, Duodezimalmaß) mit den Namen Fuße, Zolle, Linien, Skrupel gemacht werden.

In Frankreich wählte man den 10 Millionten Theil des Erdmeridian-Quadranten zur Längeneinheit und nannte ihn Meter.

1 Meter = 10 Dezimeter = 100 Zentimeter = 1000 Millimeter;
1 preußischer oder rheinländischer Fuß = 313,853 ^{mm},
1 " " " Zoll = 26,154 ^{mm};
1 pariser Fuß 324,839 ^{mm} = 1,035 preuß. F.
1 " Zoll = 27,070 ^{mm};
1 Meter = 3,186 Fuß; 1 Dezimeter = 3,823 Zoll;
1 Zentimeter = 4,588 Linien; 1 Millimeter = 0,4588 Linien.

Der Ort im Raume, welchen eine Materie ihrer ganzen raümlichen Ausdehnung ohne Rücksicht auf die Form der äußeren Umgränzung einnimmt, ist das Volumen (V) des Körpers (der mathematische Körper). Je mehr Massentheile (M) sich nun in einem bestimmten Volumen ver-

einigt finden, desto dichter ist der Körper. Die **Dichtigkeit** (D) ist also das Verhältniß oder die Beziehung der materiellen Theile oder Masse auf das Volumen in der Art, daß die Masse das Produkt aus Dichtigkeit und Volumen ist: $M = DV$. Für zwei Körper finden also folgende Proportionen statt:

$M : D = DV : dv$, d. h.? —

$M : m = D : d$, wenn die Volumina gleich sind,

$M : m = V : v$, wenn die Dichtigkeiten gleich sind,

$D : d = v : V$ bei gleichen Massen,

$D : d = \frac{M}{V} : \frac{m}{v}$,

$V : v = \frac{M}{D} : \frac{m}{d}$.

Die Dichtigkeit eines Körpers ist gleichförmig, wenn gleiche Raumtheile von ihm gleich viel Masse haben; ungleichförmig? Mittlere Dichtigkeit?

2) **Undurchdringlichkeit.** Dort wo die Materie eines Körpers ist, kann nicht zugleich die eines zweiten Körpers sein, oder jeder Körper sucht durch den Widerstand seiner Materie den bestimmten Ort zu behaupten und läßt nicht zu, daß zu derselben Zeit an demselben Orte eine andere Materie ganz oder theilweise sei. Diese nothwendige Eigenschaft der Materie heißt **Undurchdringlichkeit**; sie ist eine so wesentliche, daß wir sagen können, das Undurchdringliche ist das Materielle schon selbst, was eben, weil es undurchdringlich ist, den Raum einnimmt und somit auch Ausdehnung besitzen muß.

Thut man in ein mit Wasser gefülltes Glas ein Stück Metall und dergl., so muß ein Theil des Wassers überfließen (Mittel zur Bestimmung des Volumens der hinein gethanen Körper); gießt man durch einen engen sich gut anschließenden Trichter Wasser in eine Flasche, so kommt die Luft aus ihr stoßweise heraus und hemmt das Einfließen des Wassers. — Beim Metallgießen müssen die Gußformen Öffnungen haben, damit die Luft entweichen kann. — Ein ins Wasser umgestürztes und herabgedrücktes Glas kann nicht ganz mit Wasser gefüllt werden.

In die Poren eines Körpers kann ein anderer dringen, wodurch sich oft das Volumen des ersteren vergrößert und zwar häufig mit einer außerordentlichen Kraftentwickelung. Sprengen von Felsen durch Eintreiben von gedörrtem Holze, was dann angefeuchtet wird (Granitsäulen in der Isaakskirche zu Petersburg); Anschwellen und Verkürzen der Taue durch das Naßmachen (Obelisken in Rom aufgerichtet). Alkohol dringt in die Poren des Wassers bei Vermischung.

3) **Beharrungsvermögen.** Jeder Körper, welcher einen bestimmten Ort im Raume einnimmt, d. h. im Zustande der **Ruhe** ist, will ihn auch nicht verlassen und zeigt dies, indem er durch seine Materie dem Eindringen eines zweiten Körpers in denselben Ort einen Widerstand entgegen setzt; verändert aber ein Körper seinen Ort im Raume oder ist er in **Bewegung**, so will er auch in Bewegung bleiben, und widerstrebt dem Zustande der Ruhe, in welchen ihn ein zweiter Körper zu bringen sucht. Diese mit dem Wesen der Materie nothwendig verbundene Eigenschaft nach ihrer doppelten Richtung heißt **Beharrungsvermögen**. Die Materie zeigt sich also gegen Bewegung und Ruhe (Aufgeben und Festhalten des Raumes in der Zeit) gleichgiltig und ist insofern todt; denn

das Wesen des Raumes ist Sein, das Wesen der Zeit ist Werden, und nur die Einheit des Seins und des Werdens ist Leben.

Einem Mühlrade, einem Wagen u. s. w. kann nur allmählig die gewünschte Bewegung mitgetheilt werden. — Ein im ruhenden Wagen sitzender Mensch fährt beim schnellen Anziehen des Wagens rückwärts (der Körper will in dem Orte bleiben, in welchem er war). — Liegt ein Geldstück auf einem Kartenblatte über der Öffnung eines Gefäßes, z. B. einer Flasche, so fällt es in dasselbe, wenn man die Karte plötzlich wegschnellt. — Wird eine Kugel durch eine Glasscheibe geschossen oder ein Stein heftig durchgeworfen, so ist die Öffnung nur so groß, daß eben nur die Kugel oder der Stein durchkommt. — Felsen werden durch angezündetes Schießpulver gesprengt, selbst wenn auch das Bohrloch nur ziemlich lose mit Sand geschlossen ist. — Ein heftiger Schlag auf die Mitte eines thönernen Pfeifenrohrs, welches an zwei Haaren aufgehängt ist, bricht es, ohne die Haare zu verletzen. — Eine schwere Kugel an einem dünnen Faden kann ohne abzureißen nur dann in Bewegung gerathen, wenn man die Bewegung sehr langsam beginnt. — Der Maurer thut sich nicht wehe, wenn er auch den Stein auf seiner Hand zerschlägt. — Hängt an einer Feder ein Tropfen Dinte, so fällt er ab, wenn man die Feder plötzlich aufwärts bewegt. — Zieht man eine mit einer Flüssigkeit gefüllte Schüssel schnell seitwärts, so gießt man auf der entgegen gesetzten Seite über. — Bei langen Eisenbahnzügen reißen die stärksten Verbindungsketten der einzelnen Wagen, wenn die Lokomotive rasch abfährt oder ihre Bewegung dann schon beschleunigt, wenn nicht auch schon die letzten Wagen in hinreichender Bewegung sind.

Bewegte Räder, Wagen, Lokomotiven u. a. Maschinen kommen nicht sofort in Ruhe, wenn auch die sie bewegenden Kräfte aufhören zu wirken. Ein im fahrenden Nachen stehender Mensch schiebt nach vorwärts, wenn das Fahrzeug plötzlich ans Ufer stößt; — ein Reiter fällt leicht ab, wenn das Pferd plötzlich inne hält. — Stößt ein schnell sich bewegender Eisenbahnzug irgendwo plötzlich an, so trennt sich der andere Theil von dem aufgehaltenen. Alles will die Bewegung fortsetzen. — Springt ein Mensch vom schnell fahrenden Wagen herab, so wird er durch das Beharrungsvermögen der oberen Körpertheile heftig umgerissen. — Während eines starken Rennens kann man nicht plötzlich an einem bestimmten Punkte anhalten. — Bewegt man die mit Dinte gefüllte Feder schnell abwärts und hält dann plötzlich an, so spritzt die Dinte ab so wie, wenn man beim Schreiben plötzlich an eine Unebenheit stößt, wodurch eine momentane Unterbrechung der Bewegung eintritt. — Ein an einem Holme lose gewordenes Metallgeräth (Axt, Hammer) kann man durch Aufstampfen des Holmes befestigen. — Lösen sich von einem bewegten Körper einzelne Theile ab, so wollen diese die Bewegung des Ganzen beibehalten: Abspritzen des Kothes von fahrenden Wagen; — ewig fortgesetzte Bewegung der zu einem Systeme gehörigen Himmelskörper (Sonne, Planeten, Monde, Kometen) nach derselben Richtung im Raume.

Bewegung und Ruhe gehen nicht momentan in einander über, sondern es ist stets eine gewisse, wenn auch kurze Zeit erforderlich. Der Widerstand, welchen ein Körper der Veränderung seines Zustandes entgegensetzt, richtet sich einerseits nach der Menge der Materie, d. h. nach der Masse, auf welche eine Kraft wirkt, andererseits nach der Intensität der Bewegung.

Die Ruhe eines Körpers wäre eine absolute, wenn er seinen Ort im Weltraume nicht veränderte, was wohl von keinem Körper gesagt werden kann; sie ist aber eine relative, wenn er seine Stellung, d. i. seine Lage gegen andere gewisse Körper nicht ändert. Ebenso ist die Bewegung eine absolute, wenn der Körper seinen Ort im Raume überhaupt verläßt und eine relative, wenn er seine Lage gegen andere ändert.

Unser Urtheil über diese Zustände ist nicht selten Taüschungen ausgesetzt. Ändern zwei Körper ihre Lage gegen einander, so ist gewiß Bewegung vorhanden; welcher sich aber bewegt, ist für uns nicht immer sicher: fährt man auf einem Kahne rasch stromabwärts, so scheinen die Gegenstände am Ufer stromaufwärts zu gehen, was wir aus ihrer veränderten Lage gegen den Hintergrund und unserer scheinbaren Ruhe (Beibehalten der Lage gegen die Umgebung) schließen. — Die Erde scheint zu ruhen, der Firsternhimmel sich um sie zu bewegen. — Sehen wir von einer Brücke starr hinab auf den rasch dahin fließenden Strom, so scheinen wir zu ruhen und das Wasser entgegengesetzt sich zu bewegen. Fahren wir in der Richtung und mit der Geschwindigkeit eines strömenden Gewässers, so scheint Ruhe vorhanden zu sein; Taüschungen auf dem Meere.

Kommt ein Schiff in jeder Sekunde 4 Fuß vorwärts und bewegt sich ein Mensch darin auch durch 4 Fuß vorwärts, so wird ihn ein Beobachter am Ufer durch 8 Fuß sich bewegen sehen; ginge er aber 4 Fuß im Schiffe rückwärts, so wird er ihm in demselben Raume zu bleiben scheinen. In diesem Falle wäre der Mensch in absoluter Ruhe und relativer Bewegung, wenn die Erde selbst still stände.

Welchen Erfolg hat die rasche Drehung auf einem Fuße beim Stillstehen? Das schnelle Schütteln des Kopfes, während man auf einen bestimmten Gegenstand sieht? Wie wenn der Wind unterbrochenes Gewölk rasch vor dem Monde vorüber führt? Warum scheint uns auf Reisen in der Nacht der Mond zu begleiten, wenn er uns zur Seite ist? Wenn man auf einem Schiffe fahrend seine Bewegung nicht merkt und auf kein Ufer sieht, so scheint der Mond auch still zu stehen. Befinden wir uns auf einem sich drehenden Schiffe, so scheinen die äußeren Gegenstände sich in entgegengesetzter Richtung sich zu drehen. — Ist die Bewegung eines Körpers sehr langsam (Stundenzeiger einer Uhre), so bemerkt man sie nicht.

Bewegung insbesondere. Bei jeder Bewegung ist auf sechserlei zu achten: auf die Richtung der Bewegung, den zurückgelegten Weg, die Zeit, die Geschwindigkeit, die Masse des bewegten Körpers, die Kraft als Ursache der Bewegung und die Wirkung.

a) Entweder verfolgt der sich bewegende Körper stets dieselbe **Richtung** und der Weg ist eine **gerade** Linie, oder er ändert dieselbe ununterbrochen und der Weg ist eine **krumme** Linie. Im letzten Falle wird die Richtung, welche er in jedem Punkte seiner Bahn hat, durch die zu diesem Punkte gehörige Tangente angegeben.

b) Der zurückgelegte **Weg** (W), Raum, ist die ganze durchlaufene Bahn, welche bei der krummlinigten Bewegung größer ist, als die Entfernung der beiden Endpunkte. Er wird nach Meilen, Ruthen u. s. w. gemessen.

c) Da ein Körper nicht zugleich in zwei verschiedenen Orten sein kann, so ist zur Ausführung der Bewegung eine gewisse **Zeit** (Z) erforderlich, welche nach Jahren, Stunden u. s. w. gemessen wird. Die periodischen Himmelserscheinungen geben die Mittel zu Zeitmaßen.

d) Die Vergleichung des zurückgelegten Weges mit der dazu erforderlichen Zeit giebt die **Geschwindigkeit**, wobei, wenn die Wege in gleichen Zeiten auch gleich sind, der Weg (W) in einer Zeiteinheit (einer Stunde, Sekunde u. s. w.) der einfachste Ausdruck für sie ist. Die G. (G) ist also der in einer Zeiteinheit gleichförmig zurückgelegte Weg. Sind die Wege sehr bedeutend, so ist es angemessen eine kleine Zeiteinheit anzunehmen; in der Physik mag es eine Sekunde sein. Wenn W und w zurückgelegte Wege, Z und z die dazu erforderlichen Zeiten sind, so steht

$W : w = Z : z$, ist darin $z = 1$, also $w = G$, so steht
$W : G = Z : 1$, mithin
$W = ZG$, $G = \frac{W}{Z}$, $Z = \frac{W}{G}$; woraus
$W : w = ZG : zg$,
$G : g = \frac{W}{Z} : \frac{w}{z}$,
$Z : z = \frac{W}{G} : \frac{w}{g}$ und wenn $Z = z$
$W : w = G : g$, wenn $G = g$
$W : w = Z : z$, wenn $W = w$
$G : g = z : Z$ sich ergiebt.

Beispiele verschiedener Geschwindigkeiten in 1 Sekunde.

Wenn ein Fußgänger 3 Meilen in 5 Stunden zurücklegt	4	Fuß
Wenn ein Wagen 1 Meile in 50 Minuten zurücklegt	8	„
Ein gut segelndes Schiff	14	„
Wenn ein Dampfwagen 6 Meilen in 1 Stunde zurücklegt	40	„
Ein Rennpferd	40 bis 80	„
Ein Windhund	80	„
Eine Brieftaube	120	„
Ein mäßiger Wind 10′, ein Orkan	120	„
Der Schall in der Luft	1050	„
Eine 24pfündige Kanonenkugel	2300	„
Die Erde in ihrer Bahn	4	Meilen
Das Licht fast	42,000	„
Die Elektrizität	62,000	„

e) Die Ursache, durch welche ein ruhender Körper in Bewegung oder ein bewegter in Ruhe kommt, also die Ursache für die Veränderung des Beharrungszustandes der Körper ist die **Kraft** (K). Kräfte sind stets etwas Abstraktes, sie mögen von unorganischen oder von lebenden organischen Körpern ausgehen. Zur Beurtheilung ihrer Größe dient nur die von ihnen hervorgebrachte Wirkung. Zu ihrer sinnlichen Darstellung nimmt man entweder Zahlen- oder Linienverhältnisse. Soll einer doppelten Masse eine bestimmte Geschwindigkeit oder einer bestimmten Masse die doppelte Geschwindigkeit ertheilt werden, so muß in jedem Falle auch die Kraft doppelt so groß sein. Allgemein steht, wenn K, L, k drei Kräfte sind, zu denen nach der Reihe die Massen M, M, m und die Geschwindigkeiten G, g, g gehören:

$K : L = G : g$
$L : k = M : m$, also
$K : k = MG : mg$ und, wenn die Kräfte gleich sind:
$M : m = g : G$.

Nun kommt es noch auf die Art der Einwirkung der Kräfte an. Eine bestimmte Kraft (von einer sich gleich bleibenden Intensität) kann entweder **momentan** wirken und bringt dann eine ewig dauernde **gleichförmige** Bewegung hervor, oder **kontinuirlich** und erzeugt dann eine **ungleichförmige** Bewegung. Wirkt eine konstante Kraft fortwährend in der Richtung der Bewegung des bewegten Körpers, so wird sie eine **gleichförmig beschleunigte** Bewegung hervorbringen, wenn sie mit dem Beharrungsvermögen wirkt; wenn sie aber gegen letzteres wirkt, eine **gleichförmig verzögerte**. — In den letzten Fällen versteht man unter der Geschwindigkeit des Körpers in einem gewissen Momente den Raum,

welchen der Körper in der folgenden Zeiteinheit zurück legen würde, wenn er mit der in diesem Momente erlangten Kraft gleichförmig fortginge. Geschwindigkeit bezieht sich immer auf gleichförmige Bewegung.

f) Die Kraft, womit sich eine Masse bewegt, heißt die Größe der Bewegung (Q). Sie wird aus dem Erfolge beurtheilt, welcher sich zeigt, wenn der bewegte Körper einen anderen trifft (Stoß.) Da dieser Erfolg gleich sein muß der im bewegten Körper liegenden Kraft, so ist er ebenfalls ein Produkt aus Masse und Geschwindigkeit; also:

$Q : q = MG : mg$, wenn nun die Quantitäten der Bewegung gleich sind, so ist

$M : m = g : G$.

Wird z. B. bei zwei gleich weiten Handspritzen dieselbe Kraft auf den Stempel angewendet, so wird das Wasser aus der engen Ansatzröhre weiter spritzen, als aus der weiten. — Eine gewisse Menge Pulver wird eine kleine Kugel weiter treiben, als eine große. — Beim Abschießen eines Geschützes dehnen sich die entwickelten Gase nach allen Richtungen aus; aber alle Punkte des inneren Umfanges des Laufes leisten gleichen Widerstand, so daß sich die Widerstände von je zwei entgegengesetzten Punkten aufheben und die bewegende Kraft nur in der Axe des Rohres in Wirksamkeit tritt, wobei sie nach der einen Seite die kleine Kugel mit großer Geschwindigkeit vorwärts treibt, und nach der anderen Seite das schwere Geschütz selbst eine kurze Strecke rückwärts. Rückschlag.

4) Massenanziehung. Alles Materielle zieht einander an. Diese Thatsache zeigt sich in verschiedenen Stufenfolgen.

A. Kohäsion. Die Theile eines bestimmten Körpers halten einander fest; denn wenn dieses nicht der Fall wäre, so würde der Körper aufhören ein solcher zu sein oder seine unendlich kleinen Theile, Moleküle, würden sich in den unendlichen Raum zerstreuen. Aber auch direkt zeigt sich das Bestreben der kleinsten Körpertheile einander fest zu halten durch den Widerstand bei der Trennung. Ein Wassertropfen z. B. dehnt sich vor dem Zerreißen; ein Metalldraht wird auf gleiche Weise länger, dünner und nimmt an Volumen zu. Dies ist die Eigenschaft der Kohäsion, des Zusammenhanges, welche sich bei verschiedenen Körpern in verschiedenem Grade zeigt, mit der Annäherung der Massentheile eines bestimmten Körpers wächst und demnach die verschiedenen Aggregatszustände der Körper bewirkt, nämlich:

a) die festen Körper, bei denen der Zusammenhang der Theile so innig ist, daß sie dadurch von selbst eine bestimmte Form haben und behalten, aber nach Zerlegung in Theile nicht von selbst zu einem Ganzen sich wieder gestalten.

Der Widerstand, welchen ein fester Körper bei der Zerlegung in Theile entgegen setzt, ist sehr verschieden; demnach giebt es auch sehr verschiedene Grade von Festigkeit: weich, zähe, hart, biegsam, spröde. Manche Körper vereinen in sich mehre dieser Eigenschaften, z. B. Stahl und Glas sind sehr hart und spröde. — Glastropfen, Bologneserfläschchen.

α) Der Widerstand, welchen ein Körper dem Zerreißen in der Längenrichtung entgegen setzt, heißt seine absolute Festigkeit. Sie wächst mit dem Querschnitte des Körpers: ein doppelt starker Eisendraht kann viermal mehr tragen. Bei Metalldrähten ist ihre Verlängerung den Lasten, welche sie tragen, bis zum Zerreißen proportional.

Ein Eisendraht von $\frac{1}{10}$ Zoll Dicke wird durch 450 Pfd. und Stahldraht von derselben Dicke erst von 490 Pfd. zerrissen. Ein Kokonfaden trägt 80, ein Menschenhaar 1500 bis 2000 Gran. — Gebleichte Fäden sind weniger haltbar, als ungebleichte (rohe Leinwand, Kreas); geflochtene Fäden halten mehr, als ungeflochtene; zu stark gedrehte aber weniger; ein seidener Faden ist dreimal fester als ein leinener von gleicher Dicke; ein aus vielen Eisendrähten gewundenes Seil ist stärker, als ein Eisendraht von gleicher Schwere und Länge. Stricke von bestimmter Dicke sind um so haltbarer, je dünner die Fäden sind, aus denen sie bestehen, je feiner also auch der Hanf ist und je weniger sie zusammengedreht sind; geflochtene stärker, als gedrehte; getheerte Taue sind zwar dauerhafter, aber weniger fest, als ungetheerte; das Bestreichen der Fäden mit Wachs beim Nähen.

β) Der Widerstand, welchen ein Körper dem Zerbrechen entgegen setzt, ist seine **relative** Festigkeit.

Wird ein gleichförmiger Balken von rechtwinkligem Querschnitte an beiden Enden unterstützt und in der Mitte belastet, so steht seine relat. Fest. in gleichem Verhältnisse mit der Breite, im quadratischen der Höhe und im umgekehrten der Länge. Derselbe Balken hat also eine größere Tragfähigkeit, wenn er auf seiner schmalen Seite (hohen Kante) liegt, als wenn die breite wagerecht ist. — Die Form der Körper ist auch wesentlich: ein zylindrischer leistet mehr Widerstand, als ein vierkantiger von demselben Durchmesser; ein nur an dem einen Ende befestigter und gegen das freie Ende spitz zulaufender mehr, als einer von gleichmäßiger Dicke und demselben Volumen. — Hohle Körper haben bei gleichem Gewichte und gleicher Länge eine größere Haltbarkeit, als massive (die Knochen sind röhrenförmig, hohle Wagebalken, zu Brücken verwendete Hohlzylinder).

Ist der Körper an beiden Enden befestigt, so wirkt die Kraft am stärksten, wenn sie in der Mitte angebracht ist; ist er aber nur an dem einen Ende befestigt, so wirkt sie am freien Ende am stärksten. — In Stuben muß man die schweren Sachen an die Wände setzen.

Unter den Hölzern folgen nach ihrer Haltbarkeit: Buche, Esche, Eiche, Linde, Tanne, Fichte; unter den Metallen: Eisen, Kupfer, Platina, Silber, Gold, Zink, Zinn, Blei auf einander.

γ) Der Widerstand, welchen ein Körper dem Zerdrücken entgegen setzt, ist seine **rückwirkende** Festigkeit. Sie wächst in gleichem Verhältnisse mit dem Querschnitte des Körpers und nimmt mit der Höhe, in deren Richtung die Kraft wirkt, ab. Hohle Körper übertreffen massive von gleichem Gewichte.

Wenn bei einem Körper das innere Gefüge der Theile nach allen Richtungen gleichförmig ist, so ist es auch die Festigkeit unter übrigens gleichen Umständen; aber z. B. Holz, Fischbein, Federposen spalten sich am leichtesten nach der Längenrichtung der Fasern; die Krystalle nach der Richtung der Krystallisationsflächen. Auch ist die Gestalt des Körpers bei einem bestimmten Volumen wichtig: eine Pyramide und ein Kegel tragen mehr als ein Cylinder, dieser mehr als ein Prisma und unter letzteren wieder das am meisten, dessen Grundfläche ein Quadrat ist.

Die Kohäsionskraft, also auch die Festigkeit kann verstärkt werden bei Metallen durch Schmieden, (gewalztes Blei ist viermal, geschlagenes Silber wohl doppelt so stark, als anderes im gewöhnlichen Zustande) Pressen, Legirungen nach richtigem Verhältnisse (Messing aus 3 Thln. Kupfer und 1 Thl. Zink ist weniger haltbar, als wenn dazu mehr Zink genommen wird); bei Papier, Leder, gewebten oder gewirkten Stoffen auch durch Pressen oder Walken u. drgl.

b) **Die flüssigen Körper**, deren Theile einem in ihnen bewegten Körper nicht nur nachgeben, sondern nach seiner Entfernung sich wieder zu einem Ganzen vereinen, welches keine selbstständige Gestalt besitzt, son-

dern nur die des umgebenden festen Körpers d. h. des einschließenden Gefäßes annimmt. Diese flüssigen Körper können sein:

α) Tropfbare, welche im leeren Raume oder unter Umständen auch in anderen Flüssigkeiten eine kugelförmige Gestalt (Tropfen) annehmen, wenn sie nicht durch störende Einflüsse daran gehindert werden, welche ferner äußerst wenig preßbar und auf keine Weise als aus einzelnen Theilen bestehend erkennbar sind. Je kleiner die Menge der tropfbaren Flüssigkeit und je größer die Entfernung der übrigen Körper von ihr ist, desto vollkommener die Tropfenbildung, wobei die Attraktion der Massentheilchen von der Mitte aus wegen der gleichen Vertheilung nach allen Richtungen gleichmäßig wirkt, also Ruhe oder Gleichgewicht hergestellt ist und die Masse bei möglichst größter Annäherung ihrer Theilchen den möglichst kleinsten Raum einnimmt.

Daß Quecksilbertropfen auf einen Tisch, oder Wassertropfen auf eine staubige Fläche fallend kleine Sprünge machen ist nicht blos eine Folge der Elastizität, sondern auch und vorzüglich des Bestrebens die Kugelform zu bilden. Die Erde und andere Himmelskörper sind starr gewordene Tropfen im Weltraume. Bei der Erde beweiset dies die Abplattung an den Polen, die Ähnlichkeit so mancher Gebirgsmassen mit der Lava der Vulkane, die aus der Tiefe entquillenden heißen Gewässer und feurigen Massen, die nach dem Inneren zunehmende Erdwärme, das Vorkommen der organischen Überreste in den kalten und gemäßigten Zonen von solchen Gattungen, die jetzt nur in der heißen Zone gedeihen können — Die Meere runden sich nach der Gestalt der Erde ab.

Die Bildung des Bleischrotes ist um so vollkommener, von je größeren Höhen das geschmolzene Blei durch kleine Öffnungen fällt.

β) Luftförmige Körper, welche das Bestreben einer allseitigen Ausdehnung verbunden mit einem hohen Grade von Preßbarkeit und Elastizität haben. Wenn luftförmige Körper unter den natürlichen Wärme- und Druckverhältnissen ihren Aggregatszustand behalten, so heißen sie Gase, wenn sie aber durch besondere Mittel, namentlich durch Abkühlung und Vermehrung des Druckes sich tropfbar flüssig machen lassen, so heißen sie Dämpfe.

Alles Flüssige, nicht blos das Tropfbare, bildet in einer zum umgebenden oder benachbarten Körper verhältnißmäßig geringen Ausdehnung eine Kugelgestalt, weil dann die Massenanziehung der Umgebung auf alle Theile des Flüssigen als gleich stark wirkend angenommen werden kann, folglich diese ihrer eigenen gegenseitigen Anziehung folgen können, die nur in der Kugelgestalt ihre Befriedigung oder das Gleichgewicht findet. Je freier, selbstständiger und dichter die flüssige Masse ist, desto vollständiger ist unter übrigens gleichen Umständen die Kugelform.

Wasser in Luft, aber auch Luft- und Dampfblasen in Wasser; Öltropfen in Wasser; Seifenblasen, gefüllt mit leichterer (gleich viel ob durch Erwärmung oder von Natur) Luft.

Eine bestimmte Materie kann in verschiedenen Aggregatszuständen erscheinen. Die obigen drei Zustände sind für eine bestimmte Materie also nicht nothwendige, sondern zufällige, indem sie theils durch den Grad der Kälte und Wärme, theils durch die Größe des Druckes bedingt sind. Bei den tropfbaren Körpern halten Attraktion und Repulsion der Moleküle einander das Gleichgewicht, bei den festen ist jene, bei den elastischen diese vorherrschend

Eis, Wasser, Dämpfe.

B. Adhäsion. In jeder bestimmten Materie tritt zu einer bestimmten Zeit die Neigung der Massentheile einander festzuhalten nicht nur so lange in einem bestimmten Grade auf, wie lange sie einen ungetrennten Körper bilden; sie pflanzt sich auch noch fort auf vollständig getrennte Theile eines Körpers und selbst auf verschiedenartige Körper. Hierbei ist nun die Wirkung entweder ein bloßes äußerliches, mechanisches Festhalten: Adhäsion oder sie besteht in einer so innigen wechselseitigen Durchdringung, daß jeder Körper seine Natur aufgiebt, um einen neuen Körper (Mischung) zu bilden: chemische Verwandtschaft. Diese nicht selten mit großer Heftigkeit unter Entwickelung von Wärme und Licht eintretende Verbindung kann geschehen entweder zwischen einfachen Stoffen (Mischungsverwandtschaft) oder zwischen zusammengesetzten (Wahlverwandtschaft), wobei zu Gunsten einer Verbindung eine Trennung stattfindet. Fast immer ist einer der beiden Körper flüssig: Lösung auf nassem, auf trockenem Wege.

a) Mechanische Verwandtschaft: Adhäsion. Die von dem Verhältnisse der Kohäsion zur Adhäsion abhängigen Erscheinungen beziehen sich auf Körper aller Aggregatszustände und sind überhaupt dort vorhanden, wo die kleinsten Theilchen der wägbaren Materie mit einander in Berührung kommen. Da nun aber die Grade der Kohäsion und Adhäsion verschiedener Materien verschieden sind, so wird sich schon in äußerlicher Beziehung das Vorhandensein oder der Mangel an Verwandtschaft zeigen. Bei den drei Aggregatszuständen (a, b, c) lassen sich nun sechs Verbindungsfälle denken (aa, bb, cc, ab, ac, bc), von denen bei dreien die Materien von demselben, in den drei anderen von verschiedenem Zustande sind; dabei können sie entweder gleichartig, oder verschiedenartig sein.

1) Die Theile einer aus einander geschnittenen Bleikugel hängen an einander, wenn sie vorher dicht an einander gelegt werden. Platten aus Glas, Marmor, Metall (Adhäsionsplatten) hängen mit einer ziemlich bedeutenden Kraft an einander, wobei unter übrigens gleichen Umständen die Stärke der Adhäsion in gradem Verhältnisse zu den einander berührenden Flächen steht. — Der feine Stubenstaub hängt sich an die Decke und Wände des Zimmers. Das Zeichnen und Schreiben mit Kreide und Stiften; Malen, Lithographiren wird nur durch die Adhäsion möglich.

2) Platten von festen Körpern hängen sich an den Spiegel von Flüssigkeiten ohne allen Unterschied, wobei die zum Abreißen erforderliche Kraft die Größe der gegenseitigen Anziehung und die Kohäsion der Flüssigkeit beurtheilen läßt.

Durch das Anfeuchten zweier Adhäsionsplatten wird die Adhäsion vermehrt, besonders wenn der flüssige Körper zu einem festen zusammen trocknet. Gut geschliffene Metallplatten von einigen Zollen Durchmesser erwärmt, mit Talg bestrichen, zusammen gedrückt und einige Zeit liegen gelassen, tragen mehr als einen Zentner. Mancher Kitt bindet so gut, daß die Masse eher an anderen Stellen, als an den gekitteten reißt. — Ein Zylinder aus dicht an einander geleimten Papierlagen von 1 Quadratzoll Querschnitt kann mehr als 30,000 Pfd. tragen. — Das Leimen, Kitten, Kleistern, Mauern, Löthen, Schweißen, Vergolden, Versilbern, Anstreichen, Malen, Drucken. — Das Zusammenballen von feuchtem Schnee, eines feuchten Erdkloßes (Sandstein, Konglomerate).

Verhältniß der Adhäsion zur Kohäsion. Bei der Berührung eines festen Körpers mit einem flüssigen kann entweder die Adhäsion zwischen

dem festen und flüssigen Körper größer sein, als die Kohäsion des letzteren oder umgekehrt. In jenem Falle wird α) ein in die Flüssigkeit eingetauchter Körper von dieser benetzt, β) ein Tropfen der letzteren zerfließt auf jenem, γ) die Flüssigkeit bildet in engeren Gefäßen eine konkave Fläche und steigt in einer haarbünnen Röhre (Haarröhrchen) über den Flüssigkeitsspiegel der äußeren Flüssigkeit: Kapillarattraktion; in diesem Falle bleibt α) der feste Körper trocken, β) der Tropfen behält die Kugelgestalt und γ) die Flüssigkeit bildet eine konvexe Fläche und steht im Haarröhrchen tiefer, als äußerlich: Kapillardepression.

Der reine trockene Finger, Glas, Holz werden vom Wasser benetzt; Gold, Silber, Zinn, Blei, Wismuth, Zink, Kupfer von Quecksilber; der mit Fett, Oel, Bärlappsaamen (Hexenmehl, semen lycopodii) belegte Finger bleibt im Wasser trocken, Glas und Eisen in Quecksilber. — Durch Seile, welche um zwei über einander befindliche Walzen, von denen die untere im Wasser liegt und die obere rasch gedreht wird, läßt sich Wasser heben (Wasserseilmaschine). — Die Federn der Wasservögel sind durch eine ölige Fettigkeit vor dem Naßwerden geschützt; viele Baumknospen durch einen harzigen Überzug; die wasserdichten Zeuge durch eine Harz- oder Gummilösung (Kautschuk in Steinöl, Terpentinöl, Steinkohlenöl); mit Ölfirniß getränktes oder mit Wachs überstrichenes (gebohnertes) Holz wird vom Wasser nicht benetzt. — Wasserfarben lassen sich nicht auf fette, Ölfarben nicht auf nasse Körper auftragen. — Feste Körper von geringen Dimensionen (pulverisirt) schwimmen auf Flüssigkeiten, wenn sie von ihnen nicht benetzt werden, selbst wenn sie schwerer sind; im Gegentheile sinken sie unter. Eine gebrauchte, also etwas fettige Nähnadel kann auf Wasser schwimmen, eine mit Spiritus gereinigte sinkt unter. Wasserspinnen. — Gießt man langsam aus einem vollen Gefäße unter einem kleinen Neigungswinkel eine Flüssigkeit, welche das Gefäß benetzt, so fließt sie an dem Gefäße herab; im Gegentheile geht sie in einem freien Strahle heraus; Wasser oder Quecksilber aus einem irdenen Gefäße. — Ausgußschnäbel irdener Gefäße. — Wasser auf einem trockenen, Wasser auf einem mit Bärlappsaamen bestreuten Tische, wobei der feste Körper (Staub) an dem flüssigen (Wasser) hängt; Quecksilber einmal auf einer Silberplatte, ein andermal auf Holz, Glas; Kugelbildung in den letzten Fällen.

Benetzt eine Flüssigkeit ein Gefäß, so steht sie an den Rändern höher als nach der Mitte zu, bildet also eine ausgehöhlte oder konkave Fläche; im Gegentheile steht sie an den Rändern tiefer und bildet eine erhabene oder konvexe Fläche: Wasser in einem reinen Glasgefäße; dann Quecksilber darin. Konvexe Fläche bei der Überfüllung eines Gefäßes mit irgend einer Flüssigkeit. — Verengt sich das Gefäß zu einer Röhre, so steht die Flüssigkeit in der an beiden Seiten offenen Röhre, welche man in ein Gefäß mit dieser Flüssigkeit getaucht hat, im ersten Falle höher, im letzteren tiefer, als die Flüssigkeit außerhalb. Bei einer Haarröhre ist dies nicht unbedeutend. Beide sind eine Folge des verschiedenen Grades von Adhäsion und Kohäsion und ihres Verhältnisses zu einander. Bei einer bestimmten Flüssigkeit verhalten sich die Höhen der gehobenen oder niedergedrückten Säulchen in Röhren aus einem bestimmten Stoffe und bestimmter Temperatur, wie umgekehrt die Durchmesser der Röhren und in gleich weiten Röhren wie umgekehrt die Temperaturen; aber bei verschiedenen Flüssigkeiten sind die Höhen nahe der Kohäsion proportional, nicht aber der Dichtigkeit, welche durch die Veränderung der Wärme verhältnißmäßig nicht so sehr geändert wird. — Befindet sich die Flüssigkeit zwischen zwei konzentrischen Röhren oder zwei parallelen Platten, so ist die Hebung oder

Senkung eben so groß, als bei einer zylindrischen Röhre, deren Durchmesser doppelt so groß ist als die Dicke des ringförmigen Raumes. Hebt man die Röhre aus der Flüssigkeit, so bleibt doch ein Theil darin zurück.

Werden zwei Korkkügelchen, welche auf Wasser schwimmen und von ihm benetzt werden, einander so weit genähert, daß das Wasser zwischen ihnen keine Ebene mehr bildet, so ziehen sie einander lebhaft an; ebenso zwei Wachskugeln, welche beide nicht benetzt werden; aber zwei Kugeln, von denen nur die eine benetzt wird, die andere nicht, stoßen einander ab. — Vertikale parallele Platten bieten ähnliche Erscheinungen dar.

Poröse Körper, wie Schwamm, Zucker, Löschpapier, gewebte Zeuge, Darmsaiten, Fischbein, trockenes Holz, Pflanzen, Haare haben im Inneren enge Kanäle, durch die sie das Wasser und andere Flüssigkeiten aufsauen; ebenso trokkener Thon (wenn der auf Ölflecke gestrichene feuchte Thon trocknet, beseitigt er die Flecke; Methode durch feuchten Thon den Meliszucker in den Formen zu reinigen). Haufen von Sand, Asche, Erde, die unten feucht stehen; sogenannte Wassergallen bei Äckern; Stricke und Darmsaiten schwellen dadurch an, drehen sich nämlich auf, werden kürzer und dicker und zwar mit einer ungeheuren Kraftentwickelung (Aufstellung eines 900,000 Pfd. schweren Obelisken in Rom). Beim Brennen zieht sich der Weingeist, das Öl, der Gasäther, geschmolzenes Talg oder Wachs im Dochte oder engen Glasröhrchen aufwärts. Mauern zeigen über dem Erdboden Feuchtigkeit, wenn die Fundamente naß stehen. Hülsenfrüchte quellen beim Naßwerden an, — ihre Benutzung in der Anatomie zur Sprengung von Schädeln. Trockene Holzkeile, in Felsspalten getrieben und angefeuchtet, sprengen die Felsen. — Mittel Papier glatt auf ein Brett zu spannen. — Schiffbauer krümmen Planken, die Böttcher Stäbe und Reifen durch Anwendung von Wasser und Feuer. — Durch das Anschwellen des Holzes kann man erhabene Buchstaben u. drgl. auf ihm anbringen. — Wollen die Stiele aus Ärten fallen, so macht man sie naß. Tonnen und Fässer legt man zum Verquellen in Wasser. — In Pflanzenzellen steigen die Säfte mit großer Kraft. — Durch dicht an einander gelegte Fäden von Flachs und Hanf oder auch durch Löschpapier kann man Wasser aus einem Gefäße über den Rand in ein anderes bringen.

3) Die aus Bier oder frischgeschöpftem Wasser aufsteigenden Luftblasen hängen sich an die darin befindlichen festen Körper oder an die Wände des Gefäßes. Wird in eine Glasröhre Quecksilber gefüllt, so wird die immer noch an den inneren Wänden des Gefäßes haftende Luft nur durch längeres Kochen des Quecksilbers ausgetrieben.

Bringt man Wasser in einem Glaskolben über Feuer, so steigen, namentlich vom Boden aus, lange noch vor dem Kochen, eine Menge kleiner Gasbläschen, die sich an feste Körper anhängen und welche vorher wegen ihrer großen Verdichtung und niedrigen Temperatur gar nicht konnten wahrgenommen werden.

Viele Körper ziehen die in der Luft schwebenden Wasserdämpfe leicht an und heißen deshalb hygroskopische, wie: Kochsalz, Pottasche, Chlorkalzium, Darmsaiten, Fischbein, Holz, von Fett befreite Haare u. s. w.

Darauf, daß die festen Körper an ihrer Oberfläche zufolge der Anziehung mit einer verdichteten Gasschicht versehen sind, beruhen manche interessanten Erscheinungen. Legt man auf eine nicht sehr sorgfältig gereinigte und polirte Metallplatte ein Blatt Papier mit ausgeschnittenen Figuren und behaucht das Ganze, so nimmt das verdampfende Wasser die Gasatmosphäre an den ausgeschnittenen Stellen größtentheils mit sich fort und bei einer neuen Behauchung verdichtet sich dort der Dampf stärker als an den übrigen Theilen der Platte, so daß die Figur sichtbar wird. Auf frisch und sorgfältig (mit frisch geglühtem Trippel) gereinigten Platten, die also an ihrer Oberfläche noch keine Gasatmosphäre haben, zeigt sich keine Figur. — Setzt man auf eine frisch und vollkommen gereinigte Platte einen Stahlstempel, welcher dadurch eine dichte Atmosphäre von Kohlensäure an seiner Oberfläche bekommen hat, daß

man ihn in Kohlenpulver legte, welches mit Kohlensäure gesättigt war, so erscheint sein Bild auf der Platte, wenn man diese nach etwa 10 Minuten den Quecksilberdämpfen aussetzt und zwar da, wo Platte und Stempel einander nicht berühren, weil sich dort die Platte nicht so schnell mit einer Gasatmosphäre bedecken konnte, als an den Berührungsstellen. Hätte dagegen die Platte eine solche Gasatmosphäre und setzte man auf sie den frisch gereinigten Stempel, so würden sich nach seiner Entfernung die Quecksilberdämpfe an den Berührungsstellen ansetzen

4) Zwei Tropfen derselben Flüssigkeit fließen bei der Berührung in einen zusammen; ein Tropfen Fett verbindet sich aber nicht mit einem Wassertropfen; es zeigt sich auch bei tropfbaren Flüssigkeiten vorhandene und mangelnde Verwandtschaft.

Ein Tropfen fetten Öles zerfließt auf einem Wasserspiegel, ätherisches Öl auf fettem, Weingeist auf ätherischem, Wasser auf Quecksilber. — Berührt man mit einer Scheibe aus einem festen Körper einen Wasserspiegel, zieht dann mit ihr eine kurze Wassersaüle empor und gießt endlich auf das Wasser etwas fettes Öl, so drängt sich dieses sogar zwischen Scheibe und Wasser, so daß jenes früher abfällt als sonst geschehen wäre. — Da Weingeist und Äther auf Glas mehr zerfließen, als Wasser, so vertreibt ein Tropfen Weingeist oder Äther einen Wassertropfen auf Glas. — Ein Stückchen Kampher auf eine dünne Wasserschicht in einer Porzellanschale gelegt, vertreibt das Wasser; Bewegung des Kamphers, der auf Wasser schwimmt.

5) Führt man einen Wassertropfen, welcher etwa an einem Glasstäbchen hängt, dicht an einer polirten Platte hin, so absorbirt er einen Theil des anhaftenden Gases und sein Weg wird durch ein nachträgliches Behauchen sichtbar.

6) Zwei in einer tropfbaren Flüssigkeit befindliche Luftblasen verschwimmen bei der Berührung in eine. Werden verschiedene Luftarten von ungleicher Dichtigkeit und keiner chemischen Verwandtschaft in einen abgesperrten Raum gelassen, so sondern sie sich nur anfänglich ab, dann aber erfüllen sie jede den Raum gleichmäßig ohne Rücksicht auf das Vorhandensein der anderen.

b) Chemische Verwandtschaft. Auch hier gehen Körper entweder desselben Aggregatszustandes oder verschiedener Zustände Verbindungen ein, wodurch theils Mischungen, theils Zerlegungen geschehen.

α) Bei einfachen Körpern. 1) Die meisten Metalle verbinden sich unter dem Einflusse der Wärme mit einander zu Legirungen; ist Quecksilber der eine Bestandtheil, so giebt dies die Amalgame.

Die meisten Legirungen schmelzen leichter, als die einfachen Metalle, z. B. das rosesche Metallgemisch (2 Thle. Wismuth, 1 Thl. Zinn, 1 Thl. Blei) schmilzt im kochenden Wasser; aber ihre Kohäsion ist oft größer, als bei den einfachen Metallen, z. B. Kupfer und Zink geben das stärkere Messing und mit Zinn das Kanonen- und Glockengut; Blei mit Spießglanz die Typen für die Druckereien.

2) Wenn bei der Verbindung eines festen Körpers mit einem flüssigen die Kohäsion durch die Verwandtschaft der beiden Materien überwältigt wird, so löst sich der erstere in letzterem auf: Zucker oder Kochsalz in Wasser.

Auflösungsmittel; Beförderung durch Erwärmung, Pulverisirung; Sättigungsgrad. — Setzt man zu der konzentrirten wäßrigen Auflösung irgend eines Körpers mehr Wasser zu, so verbindet sich dieses nach und nach mit den Theilchen des aufgelösten Körpers bis eine gleichförmige Vertheilung statt findet. Jedes Wassertheilchen hängt sich gleichsam an ein entsprechendes Theilchen des aufgelösten Körpers an.

3) Kohle, besonders frisch gebrannte und in Quecksilber abgelöschte, absorbirt Gase (Kohlensaüre) mit Heftigkeit; frisch bereitete und fein zertheilte Holzkohle (auch frische Steinkohle) in größeren Haufen erhitzt sich dabei bis zur Entzündung. (Mittel dagegen — Erdbrände).

4) Die chemische Verbindung zweier tropfbar flüssigen Körper ist sehr häufig: Wasser mit Weingeist; Schwefelsaüre mit Wasser unter Erwärmung.

5) Die tropfbar flüssigen Körper absorbiren auch Luftarten mit großer Heftigkeit: ein Maß Wasser verschluckt gegen 500 Maß Salzsaüre und sogar gegen 700 M. Ammoniakgas.

Die mit festen und tropfbaren Körpern verbundenen Gase entweichen aber auch und zwar, wenn sie erwärmt (gekocht) oder einem verminderten Drucke ausgesetzt werden. Frisch geschöpftes Brunnenwasser in der warmen Stube, Bier wenn es entkorkt oder erwärmt wird; kohlensaure Mineralwasser. — Natürlich wird das Absorptionsvermögen durch Vermehrung des Druckes und durch Abkühlung (Vorlagen bei Anfertigung chemischer Präparate) vermehrt.

6) Bei den Luftarten kann die chemische Verbindung wegen ihrer geringen Dichtigkeit sehr rasch geschehen und ist daher auch nicht selten heftig. — Platinschwamm absorbirt Sauerstoff; wenn dann Wasserstoffgas darauf strömt, so verbinden sich die Gase unter solcher Wärmeentwickelung, daß der Platinschwamm glühend wird und den Strom von Wasserstoffgas anzündet.

Döbereiners Zündmaschine; Explosion bei der Verbrennung von Knallgas: 1. Sauerstoff und 2. Wasserstoff. — Phosphorwasserstoffgas verbindet sich mit Sauerstoff, selbst schon mit dem in der atmosphärischen Luft enthaltenen und verbrennt dabei. — Ein Gemenge von Chlor und Wasserstoffgas verbindet sich unter dem Einflusse des Sonnenlichtes mit Explosion.

β) Bei zusammengesetzten Körpern. Ein chemisch zusammengesetzter Körper kann durch die chemische Verwandtschaft eines seiner Theile zu einem dritten zerlegt werden.

Kaliummetall verbindet sich, auf Wasser gelegt, unter Lichterscheinung mit dem Sauerstoffe des Wassers und der Wasserstoff entweicht. — Harze verbinden sich mit Alkohol, nicht mit Wasser; wohl aber Wasser mit Alkohol. Daher kann das Harz aus einer Auflösung in Alkohol niedergeschlagen (präzipitirt) werden. — Wenn man durch eine Röhre die ausgeathmete Luft, welche Kohlensaüre enthält, in Kalkwasser bläst, so verbindet sich jene mit dem Kalke und es bildet sich ein weißlicher Niederschlag. — In gut gepfropftem Biere wie im Champagner ist Kohlensaüre als ein Produkt der Gährung enthalten. Wird nun Zucker hineingethan, so verbindet sich dieser mit der Flüssigkeit und das Gas entweicht. — Gießt man Salzsaüre auf Kreide, so verbindet sich jene mit dem Kalke der Kreide und ihre Kohlensaüre entweicht. — Werden Terpentin mit Weingeist, dann auch Salpeter mit Wasser verbunden und gießt man diese beiden Mischungen zusammen, so verbindet sich Wasser mit Weingeist, der Salpeter sinkt und der Terpentin schwimmt oben.

Bei der Verbindung zweier zusammengesetzten Stoffe zeigt sich bisweilen eine doppelte Verwandtschaft: Verbindet man kohlensaures Kali und salzsauren Kalk, so erhält man salzsaures Kali und kohlensauren Kalk, also eine doppelte Trennung und eine doppelte Verbindung.

Die Neigung zur Verbindung zweier getrennten Stoffe überwindet selbst die durch feste Körper dargebotenen Hindernisse. Füllt man eine unten mit einer Blase zugebundene Glasröhre oder ein poröses Thongefäß zum Theil mit einer Lösung von Kupfervitriol (oder Alkohol) und hält

sie mit der Füllung bis zum Niveau in ein Wassergefäß, so bringt das Wasser allmählig durch die Blase in die Röhre (Endosmose) und der Stand der Flüssigkeit wird in ihr höher; ist aber die Kupfervitriollösung im Gefäße, so sinkt das Wasser in der Röhre unter das Niveau der Lösung (Exosmose). Die Stärke der Endosmose, d. h. die Volumenabnahme des Wassers oder die Volumenzunahme der Lösung, ist bei der Lösung eines bestimmten Körpers z. B. des Zuckers, der Menge des gelösten Körpers, die in einem bestimmten Volumen der Lösung enthalten ist, proportional. Die Flüssigkeitssäulen können deßhalb ungleich hoch sein, weil die Feinheit der Poren die Ausgleichung des ungleichen Druckes nicht zuläßt.

Krystallisation. Darauf endlich, daß die Massentheile derselben Gattung, welche als die zarteste Auflösung in einer Flüssigkeit schweben, sich beim Übergange zu einem festen Körper zu regelmäßigen Gestalten ordnen, beruht die Erscheinung der Krystallisation In der ganzen Natur zeigt sich, wenn die Kohäsionskraft das Übergewicht erlangt, beim Übergange in den festen Zustand das Bestreben einer bestimmten Anordnung der Theilchen. Die dadurch sich bildenden Körperformen werden um so vollkommener, je langsamer sie entstehen. Die Untersuchung der jedem Stoffe eigenthümlich zukommenden Krystallform und der Gesetze der Symmetrie, welche zwischen den einzelnen Krystallflächen stattfindet, ist der Gegenstand der Krystallographie.

Da man feste Körper entweder in Flüssigkeiten auflöst oder sie durch Wärme in einen flüssigen — tropfbaren oder gasförmigen — Zustand versetzt, so kann man auch auf dreierlei Art Krystalle bilden.

1) Ist z. B. möglichst viel Kochsalz in Wasser, vorzüglich in warmem, aufgelöst, so bilden sich beim Verdunsten und Abkühlen des Wassers würfelförmige Krystalle; ebenso beim Alaun. Beförderung der Krystallbildung durch Fäden u. drgl. beim Kandiszucker.

2) Läßt man geschmolzenen Schwefel allmählig erkalten, durchsticht die obere schon erstarrte Rinde und gießt durch die Öffnung den im Innern noch flüssigen Schwefel aus, so zeigen die inneren Wände der starren Schwefelmasse lauter nadelförmige Krystalle. — Wismuth krystallisirt auf gleiche Weise würfelförmig. Wird essigsaures Natrum über einer Weingeistflamme geschmolzen, dann brechen bei der Abkühlung durch die bereits fest gewordene obere Haut aus dem Inneren der Flüssigkeit Krystalle hervor. — Krystalldrusen.

3) Wenn die aus einem festen Körper gewordenen Dämpfe sich zu einem festen Körper gestalten: Sublimation — Bildung von Eiskrystallen u. s. w.

Auch durch starkes Zusammendrücken einer Flüssigkeit (flüssiger Essigsaüre) oder durch Zusatz eines Stoffes, der zum Auflösungsmittel Verwandtschaft hat und es bindet (Weingeist zu einer wäßrigen Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd) werden Krystalle ausgeschieden.

C. Gravitation. Endlich kann sich die Massenanziehung ohne Rücksicht auf Stoff und Aggregatszustand in jeder beliebigen Entfernung aüßern, ja bis zu den im Himmelsraume schwebenden Körpern, ohne daß sie zu ihrer Fortpflanzung einer Zeit bedarf; sie heißt dann Gravitation, Schwere.

Zwei dicht an einander auf Öl- oder Wachspapier liegende Wassertropfen ziehen einander an und vereinigen sich zu einem Tropfen; ebenso zwei Quecksilbertropfen auf einem trockenen Tische. — Die an einer senkrechten Wand herabfallende Flaumfeder nähert sich derselben mehr und mehr; ebenso der Staub, welcher dann anhaftet. — Zwei auf einem ruhigen Wasserspiegel in einige Entfernung von einander gestellte Körper schwimmen zu einander bis

Berührung eintritt; ist ihre Masse gleich, so ist es auch die Geschwindigkeit; ist sie ungleich, so bringt die größere an der kleineren auch eine so viel mal größere Geschwindigkeit hervor, als diese kleiner ist.

Eine Masse wirkt anziehend nach allen Richtungen wie in den Radien einer Hohlkugel gleich stark auf alle gleichen Theile derselben; sie vertheilt gleichsam ihre Wirkung gleichmäßig auf die ganze Kugelfläche. Wenn nun der Kugelradius zunimmt, so muß die Wirkung auf jeden solchen Theil so viel mal geringer werden, wie viel mal die neue Kugelfläche größer ist, als die frühere. Kugelflächen stehen aber im quadratischen Verhältnisse ihrer Radien. Darin liegen folgende Gesetze:

1) Die Massenanziehung (A) zweier Körper steht bei gleich bleibender Entfernung im geraden Verhältnisse der Masse (M),

2) bei gleich bleibender Masse im umgekehrten quadratischen der Entfernung (E); es steht also überhaupt:

$$A : a = M : m,$$
$$A : a = e^2 : E^2,$$
$$A : a = \frac{M}{E^2} : \frac{m}{e^2}$$

Die Erde zieht alle auf ihr und um sie befindlichen Körper an, so daß sich keiner, welcher zu ihr gehört, je ganz von ihr entfernen könnte. Wäre die Erde eine vollkommene Kugel, so würde die Schwere bei ihr allenthalben nach dem Mittelpunkte gerichtet sein; da aber ihre Masse von ihm aus nicht nach allen Richtungen gleichförmig vertheilt ist, so gilt jene Richtung, welche durch das Loth angegeben wird, streng nur von den Punkten des Äquators und den Polen. Das Loth hat auf der freien Fläche eine auf dem Horizonte (der wahre, scheinbare und sogenannte künstliche Horizont — Wasserspiegel) senkrechte Lage, zeigt also (für Äquator und Pole genau) nach dem Mittelpunkte der Erde und dem Zenith des Ortes; aber in der Nähe bedeutender Felsmassen wird es von diesen angezogen, also von der senkrechten Lage abgelenkt. Aus der Größe der Ablenkung des Lothes von der Vertikallinie durch eine bestimmte bedeutende Masse (Berg, Metallmasse), aus ihrer Entfernung von dem aufgehängten Lothe (Pendel) und des letzteren von dem Mittelpunkte der Erde hat man die Erdmasse auf mehr als 10 Quadrillionen Pfd. berechnet und ihre Dichtigkeit auf das 5,67fache des Wassers angegeben.

Im Mittelpunkte der Erde ist die Schwere Null, weil die Massenanziehung hier nach allen Richtungen gleich stark wirkt, also das Gleichgewicht stattfindet; nach der Oberfläche hin nimmt sie zu, weil mehr Massentheile nach der Seite liegen, in welcher sich der Mittelpunkt befindet und diese Zunahme findet bis zur Erdoberfläche statt, wo dann nach der einen Richtung die sämmtliche Masse der Erde liegt, nach der anderen gar keine; bei der weiteren Entfernung von der Erde nimmt ihre Anziehungskraft ab, weil man sich von ihrer Masse ganz entfernt.

Wenn nun auch im Allgemeinen die Schwere an der Erdoberfläche am größten ist, so ist sie wegen der abgeplatteten Gestalt und der ungleichen Schwungkraft, welche die einzelnen Punkte durch die Rotation und das Beharrungsvermögen besitzen, dennoch nicht für alle Gegenden dieselbe: unter dem Äquator ist sie etwa um $\frac{1}{200}$ kleiner, als an den Polen und um $\frac{1}{300}$, als bei 50° Breite

Wegen der Anziehungskraft der Erde haben alle Körper an und auf ihr das Bestreben nach dem Verhältnisse ihrer Dichtigkeit sich gegen einander

so abzulagern, daß sie um so mehr dem Mittelpunkte näher liegen, je dichter sie sind. Befindet sich ein Körper nicht in dieser Lage, so wird er sich dorthin bewegen, wenn er sich entweder in einer Flüssigkeit (Mittel) oder im leeren Raume befindet; er kann aber nur das Bestreben zur Bewegung zeigen, wenn er durch feste Körper verhindert wird sich zu bewegen.

Ein Stück Eisen steigt (entfernt sich vom Erdmittelpunkte) im Quecksilber und fällt (nähert sich dem Erdmittelpunkte) im Wasser. Eine mit atmosphärischer Luft angefüllte und geschlossene thierische Blase steigt im Wasser und fällt in der gewöhnlichen Luft, während eine dünne mit einer leichteren Luft (erwärmte L., Wasserstoffluft) gefüllte Blase auch in ihr steigen kann. Aber auch ein bestimmter Körper kann in einem bestimmten Fluidum steigen oder fallen; ersteres wenn sich entweder sein Volumen vergrößert oder die Menge der Massentheile bei unverändertem Volumen vermindert; letzteres im umgekehrten Falle. — Fische steigen oder sinken im Wasser bei Erweiterung oder Verengung ihrer Blase mittelst der Muskeln. Bei Luftbällen oder dem kartheſianischen Taucher findet eine Veränderung in der Menge der materiellen Theile statt.

Jeder Körper strebt also dahin zu gelangen, wo die Masse des umgebenden Mittels von demselben Volumen eben so groß ist, als seine eigene und ist er dort, so findet Ruhe oder Gleichgewicht statt. Da ein Körper von bestimmtem Volumen bald in tieferen, bald in höheren Schichten einer bestimmten Flüssigkeit zum Schweben gebracht werden kann, je nachdem man ihm eine größere oder geringere Masse giebt, so folgt, daß die tieferen Schichten einer bestimmten Flüssigkeit mehr Massentheile in einem bestimmten Raume besitzen, als die höheren.

Ein bestimmter Körper fällt also, wenn er mehr Masse besitzt, als das umgebende Medium von demselben Raume; er steigt im umgekehrten Falle und schwebt, wenn die Dichtigkeiten beider gleich sind.

Gewicht. Wenn ein Körper in der atmosphärischen Luft das Bestreben hat zu fallen und man will ihn daran durch eine Unterlage hindern, so erfährt diese einen Druck, dessen Größe man das Gewicht nennt, welches sich nach der Menge der Massentheile des aufliegenden Körpers richtet. Da nun aber ein Körper von bestimmter Massenbeschaffenheit und bestimmtem Volumen in einem bestimmten Mittel stets auch einen bestimmten Druck ausüben muß, so kann man einen solchen Druck zum Maße für jeden andern Druck annehmen, so daß jeder Druck, also auch die ihn bewirkende Masse, durch eine benannte Zahl dargestellt werden kann, wobei jener als Einheit angenommene Normaldruck die Benennung abgiebt.

In Frankreich dient das Gramm, welches das Gewicht von einem Kubikzentimeter reinen Wassers im Zustande seiner größten Dichtigkeit ist, gesetzlich als Maßeinheit für die Gewichte.

1000 Kubikzentimeter = 1 Kubikdezimeter wiegen 1000 Gramme = 1 Kilogramm;
0,1 Gramm = 1 Dezigramm; 0,01 Gramm = 1 Zentigramm;
0,001 Gramm = 1 Millegramm.

500 Gramme = dem badenschen, hessischen und dem schweizerischen Pfunde.

1 preuß. (altkölnisches) Handelspfund	= 467,711	Gramme,
1 österreichisches „	= 560,012	„
1 bairisches „	= 560	„
1 englisches „	= 453	„

Das preußische und österreichische Medizinalpfund ist $\frac{3}{4}$ des entsprechenden Handelspfundes und es ist

1 Pfd.	= 12 Unzen	= 96 Drachmen	= 288 Skrupel	= 5760 Gran,	
	1 „	= 8 „			
		1 „	= 3 „		
			1 „	= 20 „	

Aus dem Vorhergehenden ist klar, daß der Druck eines bestimmten Körpers in verschiedenen Flüssigkeiten, worin er sich befinden kann, nicht derselbe ist. Platina wird in Quecksilber einen geringeren Druck, als in Wasser und in diesem wieder einen geringeren, als in Luft ausüben. Man würde also eigentlich nur im luftleeren Raume den absoluten Druck eines Körpers wahrnehmen können. Da seine Herstellung aber für die Zwecke des bürgerlichen Lebens unstatthaft ist, so wägt man die Körper in der atmosphärischen Luft ab. Obwohl auch diese sich nicht stets in demselben Zustande der Dichtigkeit befindet (Dasymeter), so ist doch dieser Einfluß nicht allzu bedeutend und kann meist vernachläßigt werden, so daß der Druck in ihr als das absolute Gewicht eines Körpers von beliebiger Masse, Form und Größe angesehen wird.

Wenn Körper von ungleicher Größe denselben Druck in der atmosphärischen Luft ausüben, so würde im luftleeren Raume der größere auch einen größeren Druck hervorbringen, weil die Luft im ersten Falle einen seiner Größe entsprechenden Gewichtsantheil trug, also mehr trug, als vom kleineren.

Man kann zur Gewißheit über den absoluten Druck oder das absol. Gew. aller Körper auch dann gelangen, wenn man weiß 1) welchen Rauminhalt der Körper hat und 2) wie viel mal ein gewisser Rauminhalt von dem betreffenden Stoffe schwerer (oder leichter) ist, als ein eben so großes Volumen eines Körpers von ganz bestimmter Materie, wie z. B. des reinen Wassers.

Die Zahl welche angiebt, wie viel mal schwerer oder leichter irgend ein Körper ist, als ein Wasserkörper von demselben Volumen, heißt das spezifische Gewicht (auch Eigengewicht), so daß dieses ganz allgemein eigentlich das Verhältniß des absoluten Gewichtes zweier Körper bei gleichem Rauminhalte ist.

Bezeichnet man mit a und w die absoluten Gewichte irgend eines Körpers und des Wassers von gleichem Volumen, mit S und s die spezifischen Gewichte, so steht

$S : s = a : w$ (wofür wir früher hatten $D : d = M : m$),

also das spez. Gew. S eines Körpers $= \frac{s\,a}{w}$ oder, wenn man s als Einheit annimmt:

$S = \frac{a}{w}$, d. h. man findet das spez. Gew. eines Körpers, wenn man sein absolutes Gewicht durch das absolute Gewicht eines eben so großen Wasserkörpers dividirt.

Über die Auffindung des spezifischen Gewichtes der verschiedenen Körper vorlaüfig nur Folgendes:

1) Für tropfbare Körper. Man nehme ein Fläschchen, dessen Inhalt (meist von 1000 Gran Wasser) durch ein eben geschliffenes und aufzulegendes Glasplättchen genau abgegränzt werden kann. Füllt man nun dasselbe mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, z. B. englischer Schwefelsaüre und bestimmt ihr absolutes Gewicht, was 1848 Gran betragen mag, so hat man das spez. Gew. $= \frac{1848}{1000} = 1{,}848$. Wäre Alkohol von demselben Inhalte 800 Gran schwer, so würde sein spez. Gew. 0,8 sein.

2) Für kleine feste Körper. Man bestimme zunächst das absolute Gewicht des zu untersuchenden Körpers; um aber dann noch das Gewicht

des eben so großen Wasserkörpers zu erhalten, muß man jenes absolute Gew. zu dem Gewichte des mit (1000 Gran) gefüllten Fläschchens addiren und davon das Gewicht abziehen, welches man erhält, wenn man den Körper in das gefüllte Fläschchen legt und alles überfließende Wasser sorgfältig beseitigt hat.

Ein Stückchen Platina wiege	920,4 Gr.,
das Glas mit dem Wasser	1352 „
also beide	2272,4 Gr.

Das Glas mit Wasser und darin Platin 2228,2; also das Gewicht des durch das Platin verdrängten Wassers 44,2; folglich das spez. Gew. des Platins $\frac{920,4}{44,2} = 20,8$.

3) Wäre der Körper mit dem absoluten Gewichte a im Wasser auflösbar, so bestimmt man auf obige Weise das Gewicht w′ eines eben so großen Volumens einer andern Flüssigkeit, in welcher sich der Körper nicht auflöst und deren spez. Gew. s′ nach dem ersten Falle bekannt ist; dann ist des zu untersuchenden Körpers spezifisches Gewicht $= \frac{a}{\frac{w'}{s'}} = \frac{s'a}{w'}$, weil aus $w : w' = 1 : s'$ das Gewicht w eines eben so großen Wasserkörpers $\frac{w'}{s'}$ ist. Man braucht also nur das spez. Gewicht s′ der neuen Flüssigkeit mit dem auf sie bezogenen spez. Gewichte des zu untersuchenden Körpers, nämlich $\frac{a}{w'}$ zu multipliziren: $s' \frac{a}{w'}$.

Das spezifische Gewicht einiger Körper beim 0 Grad.

Platin, gemünzt	22,100	Zinn	7,291	Ebenholz	1,226
Platin, geschmolzen	20,857	Diamant	3,520	Mahagonyholz	1,060
Gold, gemünzt	19,325	Flintglas v. 3,2 bis	3,779	Eichenholz, altes	1,170
Gold, gepreßt	19,334	Spiegelglas	2,370	Hainbuchen, trocken	0,769
Gold, geschmolzen	19,253	Marmor	2,837	Linden, trocken	0,439
Blei, geschmolzen	11,352	Gyps, krystallisirt	2,311	Pappelholz	0,338
Silber, gepreßt	10,566	Schwefel	2,033	Kork	0,240
Silber, geschmolzen	10,474	Elfenbein	1,917	Quecksilber	13,598
Kupfer, gehämmert	8,878	Phosphor	1,770	Milch	1,030
Kupfer, gegossen	7,788	Bernstein	1,078	Meerwasser	1,026
Arsenik	8,308	Wachs, weißes	0,969	Malaga	1,022
Stahl	7,816	Eis	0,885	Zitronenöl	0,852
Eisen, geschmiedet	7,788	Kreide	1,797	Schwefeläther	0,715
Eisen, gegossen	7,207	Perlen	2,750	Salpetersaüre	1,522

Ebbe und Fluth. Die Erde fesselt durch ihre Anziehungskraft nicht blos die in unmittelbarer Berührung befindlichen Körper an sich, sondern auch entferntere. Aus diesem Grunde fallen bisweilen kleinere oder größere Steinmassen (Meteorsteine, Steinregen) aus dem Weltraume auf sie. Auch den Mond fesselt sie an sich und da er etwa um 60 Erdradien von ihrem Mittelpunkte entfernt ist, so müßte er 60. 60 = 3600 mal schwächer, als ein Körper an der Erdoberfläche (d. i. in der Entfernung von einem Erdradius) angezogen werden, also auch in der ersten Sekunde durch einen 3600 mal kleineren Raum fallen, als ein Körper an der Erdoberfläche, der in der ersten Sekunde etwa $15\frac{1}{2}$ Fuß zurück legt.

Aus dem Radius der Mondbahn (51355 Meilen, jede zu 23642 rheinländ. Fuß) berechnet man seinen ganzen Lauf, aus diesem und der

Umlaufszeit (27,32166 Tage) den Weg mn (Fig. 1.), welchen er in einer Sekunde zurück legt, wodurch auch der Winkel $e = 0,518$ Sekund. bekannt ist, aus diesem $pe = r. \cos e$ und endlich $mp = me - pe = r - r \cos e = r (1 - \cos e) = 2 r \sin^2 \frac{e}{2} = 0,00945$ Fuß, welches der Fallraum des Mondes m nach der Erde e in einer Sekunde ist, weil der Mond von der Tangentialrichtung mt, die er von m aus nach dem Beharrungsgesetze zurück legen würde, um die mp von der Erde angezogen wird.

Wird der Halbmesser der Erdbahn = 392 Halbmessern der Mondbahn, ihre Umlaufszeit 365,256 Tage angenommen, so schreitet sie in einer Sekunde in ihrer Bahn um einen Winkel von 0,0411 Sek. fort und wird um 0,00429 Fuß von der Tangentialrichtung abgezogen.

Da die anziehenden Kräfte sich verhalten wie umgekehrt die Quadrate der Entfernung, so würde die Erde, wenn sie um den Radius der Mondbahn von der Sonne entfernt wäre, 392.392 mal so stark angezogen, als gegenwärtig; würde also in einer Sekunde $392^2 . 0,00429 = 1452,6$ Fuß zur Sonne fallen.

Da das Maß der anziehenden Kraft der Erde 0,00945, das der Sonne 1452,6 ist und sich die anziehenden Kräfte bei gleichen Entfernungen wie die Massen verhalten, so ergiebt sich aus

M. der Erde : M d. Sonne = 0,00945 : 1452,6, daß die Masse der Sonne die der Erde etwa 339000 mal übertrifft.

Auch der Mond zeigt seinen anziehenden Einfluß auf die Erde und zwar in den Erscheinungen der Ebbe und Fluth. Ist nämlich der Mond durch den Meridian eines Ortes an einem größeren freien Meere gegangen und 12 Stunden nachher, wenn sich der Mond grade auf der entgegen gesetzten Seite der Erde befindet, so hat das Meerwasser seinen höchsten Stand (Fluth), und in den Zwischenzeiten von 6 Stunden seinen tiefsten (Ebbe). Die Zeiten der Fluth und Ebbe verspäten sich täglich um etwa 50 Minuten grade wie der Durchgang des Mondes durch den Meridian und die Differenz zwischen dem tiefsten und höchsten Stande an demselben Tage ist zur Zeit des Neu- und Vollmondes größer, als in den Mondsvierteln und auch größer, wenn sich der Mond bei seinem elliptischen Laufe um die Erde in der Erdnähe, als wenn er sich in der Erdferne befindet.

Sind m und e die Mittelpunkte von Mond und Erde (Fig. 2.), so wird der Punkt a, welcher den Mond im Zenith hat, stärker, der Punkt d, welcher ihn im Nadir hat, schwächer von ihm angezogen als e. Gesetzt a rücke zufolge dieser Anziehung nach α, e nach ε, d nach δ, so wird $a\alpha$ größer und $d\delta$ kleiner, als $e\varepsilon$ sein; demnach muß auch sowohl $\varepsilon\alpha$, als auch $\varepsilon\delta$ größer als $ea = ed$ sein, d. h. a und d haben sich von dem Mittelpunkte der Erde entfernt, dort sind Fluthen und in b und c, wo der Mond im Horizonte erscheint, Ebben. Wegen der Drehung der Erde in 24 Stunden um ihre Axe muß auch jede Fluthwelle den vollen Umlauf in dieser Zeit machen, so daß jeder Ort stets nach 12 Stunden wieder Fluth hat. Das Wasser selbst hat hierbei keine merklich fortschreitende Bewegung, sondern ist nur einer abwechselnden Hebung und Senkung ausgesetzt.

Es bringt zwar die anziehende Kraft der Sonne auf der Erde auch eine Ebbe und Fluth hervor, diese ist aber bedeutend schwächer, weil bei

der so ungemein großen Entfernung die Differenz der Anziehung gegen die näheren und entfernteren Punkte der Erde sehr klein ist. Beim Neu- und Vollmonde vereinigen sich die durch Mond und Sonne bewirkten Fluthen zu den sogenannten Springfluthen. Die Orte, denen zu dieser Zeit der Mond im Scheitelpunkte steht, haben die höchsten Fluthen.

Man hat aus einer sorgfältigen Vergleichung der Fluthen, welche Sonne und Mond hervorbringen, auf das Verhältniß ihrer Masse geschlossen und die des Mondes auf etwa den 75sten Theil von der Masse der Erde berechnet.

So wie Sonne, Erde und Mond zu einander Gravitation äußern, ebenso auch die übrigen Planeten und Monde unseres Sonnensystems, weßhalb die Bahnen dieser Körper keine genaue Ellipsen sind, indem, wenn ein Planet sich einem anderen nähert, jeder den anderen ein wenig von seiner ihm durch die Sonne vorgeschriebenen Bahn ablenkt (Perturbationen). Da aber die Masse der Sonne die aller Planeten und Monde um mehr als 800 mal übertrifft, so können diese Ablenkungen nur sehr unbedeutend sein. Die zarte Masse der Kometen erfährt aber oft bedeutende Störungen auf ihrem Wege im Weltraume und ist bei den meisten wohl ein zwischen den verschiedenen Sonnensystemen hin und her geworfener Spielball.

Zweiter Theil.

Statische und mechanische Zustände der Körper.

Erste Abtheilung.

Nothwendige Zustände.

Erster Abschnitt.

Zustände des Gleichgewichts und der Bewegung fester Körper.

I. Gleichgewicht fester Körper.

Wenn zwei oder mehre Kräfte in dem Zustande eines Körpers keine Veränderungen hervorbringen oder wenn die Wirkungen der Kräfte einander aufheben, so ist der Körper im Gleichgewichte. Die Bedingungen des Gleichgewichtes ermittelt die Statik, die Gesetze der Bewegung die Mechanik.

Ein an einem Faden mit festem Aufhängepunkte ruhig hängender Körper ist im Gleichgewichte, weil sein Gewicht durch den Widerstand des Fadens aufgehoben wird; eben so ein in einer Flüssigkeit ruhig schwebender Körper, da sein Gewicht durch den Gegendruck des umgebenden Fluidums aufgehoben wird.

A. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

Wirken zwei Kräfte, so können dieselben bei einem starren Körper a, denselben Angriffspunkt oder b, verschiedene Angriffspunkte haben.

a) Ein Angriffspunkt. Zwei gleiche nach gradlinig entgegen gesetzten Richtungen auf einen Punkt wirkende Kräfte halten einander das

Gleichgewicht oder bewirken an dem Punkte gar keine Bewegung; sind sie ungleich, so bewegt er sich nach der Richtung, die ihm die größere giebt, mit dem Unterschiede der Größe der Bewegung von beiden; wirken endlich die Kräfte in grader Richtung mit einander, so bewegt sich der Punkt mit der Summe aus den Größen der Bewegung beider.

Es ist übrigens gleichgiltig, ob eine Kraft den zu bewegenden Punkt unmittelbar angreift oder in irgend einem Punkte der von ihm ausgehenden Richtungslinie der Bewegung. Treibt z. B. eine Kraft M (Fig 3.), welche in a angreift, diesen Punkt in der Richtung ax und wirken auf b, welches eine unveränderliche Entfernung von a hat, zwei ihr gleiche Kräfte N und O so, daß N den Punkt b in der Richtung nach a, O ihn aber nach x hin zu bewegen strebt, so heben N und O einander auf, aber eben so gut heben auch M und N einander auf, so daß die der M gleiche Kraft O in b angreifend dasselbe bewirkt, wie die in a angreifende M.

α) Zusammensetzung der Kräfte.

Wenn aber auch zwei oder mehre Kräfte in beliebigen anderen Richtungen auf einen Punkt wirken, so kann derselbe doch nur eine einzelne Bahn einschlagen, welche er, statt von der Gesammtheit, dem Systeme, der Kräfte getrieben zu werden, auch von einer einzigen, die man die **resultirende** nennt, erhalten würde. Die einzelnen Kräfte heißen **Seitenkräfte** (Komponenten). — Wollte man einem Systeme von Kräften eine neue Kraft hinzufügen, welche der Resultirenden aus jenen gleich ist, und ihr gradlinig entgegen gesetzt wirkt, so würde Gleichgewicht statt finden.

Wenn zwei Seitenkräfte, deren Verhältniß durch die Linien ad und ab (Fig. 4.) dargestellt sein mag, auf den Punkt a unter dem Winkel bad einwirken, so wird a keiner von diesen Kräften folgen und doch auch beiden: die eine wird ihn nämlich um ad = mn = rs = be von der ab unter dem Winkel bad, die andere um ab = fg = hk = de von der ad unter demselben Winkel forttreiben; er wird also am Ende des Zeitabschnittes in dem Durchschnittspunkte der durch b zu ad und durch d zu ab gezogenen Parallelen, d. i. im Endpunkte e der Diagonale des **Parallelogramms der Kräfte**, welches aus den beiden Seitenkräften ad, ab und ihrem Winkel bad gebildet werden kann, angelangt sein und sich auch in den Zwischenzeiten in irgend einem Punkte derselben, wie in c oder o sich befinden, was sich leicht einsehen läßt, wenn man ab in eine gewisse Anzahl gleicher Theile zerlegt und ad in eben so viele unter einander gleiche, so daß dann a, von jeder Kraft einzeln getrieben, in gleichen Zeiten auch gleich viele Theile von beiden zurück legen und am : ar : ab = af : ah = ad = mc = ro : be = 1 : 2 : 3 statt finden wird.

Die Diagonale ae giebt von der resultirenden Kraft sowohl die **Richtung** als auch die **Größe** an, indem man nur mit dem für die Seitenkräfte ab und ad angenommenen Maße die ae zu messen nothwendig hat.

Der allgemeine Ausdruck für die Resultirenden ist:

$$ae^2 = ab^2 + ad^2 - 2\, ab.\, ad. \cos bad.$$

Aus geometrischen Betrachtungen ergiebt sich:

1) daß die Resultirende niemals größer als die Summe und niemals kleiner als die Differenz der Seitenkräfte sein kann;

2) daß sie ferner um so größer wird, je kleiner der Winkel der Seitenkräfte ist;

3) daß sie diesen Winkel halbirt, wenn die Seitenkräfte gleich sind und

4) daß sie näher an die größere Seitenkraft fällt, wenn diese ungleich sind.

Zwei an einem Punkte c angreifende Kräfte m und n (Fig. 5.) können nur dann im Gleichgewichte sein, wenn ihrer Resultirenden co das Gleichgewicht gehalten wird; wenn cb = co ist. Wenn nämlich zwei Kräfte in derselben Ebene an dem Umfange einer kreisrunden Scheibe wirken, die um ihre durch die Mitte o gehende feste Axe drehbar ist, so wird es den Erfolg nicht abändern, wenn die Kräfte, statt in a und b (Fig. 6.), in dem Durchschnittspunkte c ihrer Richtungslinien angreifen, wofern c mit der Scheibe als fest verbunden angenommen wird. Die von c ausgehende Resultirende wird aber nur dann durch o gehen und daselbst durch den Widerstand der Axe aufgehoben werden, wenn die Kräfte gleich sind, wobei ihre Richtung gegen einander ganz gleichgiltig ist. Daraus bestätigt sich also, daß nur gleiche Kräfte einander das Gleichgewicht halten können.

Ist a (Fig. 7.) am jenseitigen Ufer eines Flusses ein Fahrzeug, nach d ein Tau geführt, an welchem man das Fahrzeug herüber ziehen will und giebt ab den Weg an, um welchen die Strömung das a in der Zeit abwärts führte, in welcher die Kraft in d es von a bis d zu ziehen im Stande wäre; so würde ae sein Weg sein.

Wenn im Punkte c auf einem Flusse zwei Kräfte angreifen, deren Maß und Richtung durch cf und cg dargestellt sein soll, so wird dann der Punkt c stromaufwärts gezogen, wenn die Resultirende größer ist, als die Kraft des Stromes, welche auf c wirkt.

Andere Beispiele von der Zusammensetzung der Kräfte sind: der durch den Wind getriebene Regen; ein von dem Mastbaume eines fahrenden Schiffes herabfallender Körper; eine in einen tiefen Schacht herabfallende Kugel (fällt nicht genau senkrecht); eine Kugel, welche man senkrecht aufwärts wirft, während man schnell reitet oder fährt; eine horizontal geworfene oder abgeschossene Kugel; schiefe Bewegungen in Theatern mit Maschinen.

Wirken drei oder mehre Kräfte auf einen Punkt ein, so findet man die Resultirende aus ihnen, wenn man zuerst zwei Kräfte zusammen setzt, die erhaltene mit der dritten u. s. w.

Beispiele: Wenn an einem Hauptseile mehre Nebenseile angebracht sind und von Menschen gezogen werden, wie beim Rammen, beim Trecken der Schiffe. Die Ziehenden müssen möglichst dicht an einander stehen und und in der Richtung des Hauptseiles ziehen, damit die Resultirende möglichst groß ausfalle — Auf eine bei windigem Wetter horizontal abgeschossene Kugel wirken drei Kräfte.

β) Zerlegung der Kräfte.

Weil zwei oder mehre Kräfte durch eine ersetzt werden können, so läßt sich auch eine einzelne Kraft in zwei oder mehre Seitenkräfte auflösen. Da aber eine bestimmte Linie die Diagonale von unzählig vielen Parallelogrammen sein kann, so läßt sich eine bestimmte Kraft in unzählig viele Systeme von zwei Kräften auflösen. Weiß man aber die eine Seitenkraft und die Richtung gegen die zu zerlegende (Resultirende), so ist die Aufgabe bestimmt und es läßt sich die Größe und Richtung der anderen finden.

Der Nutzen dieser Betrachtung zeigt sich besonders, wenn man eine auf einen Gegenstand schief wirkende Kraft zerlegt und zwar in eine darauf senkrecht wirkende und in eine damit parallele. Jene wirkt nämlich voll-

ständig und ungeschwächt, diese aber gar nicht, so daß jene den eigentlichen Erfolg, diese den Verlust darstellt.

Giebt man einem Fahrzeuge in einem Flusse die Richtung ab (Fig. 8.), so wird es durch die Strömung allein nach dem jenseitigen Ufer mn getrieben. Denn ist oc das Maß und die Richtung für die Strömung, so löst man diese Kraft in die auf ab senkrecht wirkende oe und die mit ihr parallele or auf, von denen nur oe = rc zur Wirksamkeit gelangt, so daß e in d anlangen wird. — Welche Lage muß man dem Körper geben, wenn man über einen Fluß schwimmen will? — Fliegende Fähre. — Wirkungen des Steuerruders, des Schwanzes der Fische.

An der horizontalen und drehbaren Axe o (Fig. 9.) seien senkrecht zwei Windmühlflügel, aber schief gegen die Windrichtung ab und dk angesetzt. Geben nun ab und dk die Stärke und Richtung des Windes an, sind ac und ke senkrecht auf den Flügeln, so ist bc der Kraftantheil, womit der obere Flügel nach links und de, womit der untere nach rechts getrieben wird, so daß die Bewegungen beider einander unterstützen; ac und ke gehen durch den Widerstand der Axe verloren. — Die schief gegen die Windrichtung gestellten Segel eines Schiffes; das schief gegen die Stromrichtung gestellte Steuerruder; die Flügel der Vögel beim Fliegen; das Drachenspiel; die vom Wasser schief getroffenen Flächen der Schaufel- und Kastenräder (unter- und oberschlächtige) der Wassermühlen; eine gegen den Wind schief geschossene Kugel; schiefes Auffallen elastischer Körper, der Lichtstrahlen, der Wärmestrahlen, der Wasserwellen, der Schallwellen.

Der Druck eines Körpers auf eine horizontale Fläche wirkt vollständig; ist die Fläche schief geneigt, so geht ein Theil der drückenden Kraft verloren. Ist z. B. ob das Maß der auf die gegen den Horizont schief geneigte Ebene fk (Fig. 10.) drückenden Kraft, so giebt die darauf senkrechte oc den Antheil an, welcher von ihr wirklich zur Wirksamkeit gelangt, und die oe = cb den Antheil, womit der Körper herabgeleitet, der also nicht drückt.

Ein Pferd wird mit dem möglich größesten Erfolge ziehen, wenn es auf einer horizontalen Ebene mn (Fig. 11.) eine Last horizontal ziehen kann. Befindet es sich aber schon auf einer Anhöhe in b, während die Last noch in a ist, so geht ein Theil seiner Kraft, welche durch ab dargestellt sein soll, verloren; es wirkt nur mit dem Antheile ac. Wird indeß das Pferd kürzer gespannt, z. B. in o und ist ad = ab das Maß seiner Kraft, so geht weniger verloren, indem es mit ae > ac wirkt. Auf Gebirgswegen spannt man daher die Pferde kurz.

b) Verschiedene Angriffspunkte. Bis jetzt nahmen wir an, daß wenn zwei oder mehre Kräfte auf einen Körper einwirkten, ihr Angriffspunkt derselbe wäre. Nun ist aber noch der Fall denkbar, daß die Angriffspunkte verschiedene, aber unveränderlich mit einander verbundene sind und dabei die in derselben Ebene liegenden Richtungslinien *α*) nicht parallel, *β*) parallel laufen.

α) Für den ersten Fall geschieht die Zusammensetzung der Kräfte wie oben. Es seien z. B. a und b (Fig. 12.) die Angriffspunkte zweier gleichen oder ungleichen Kräfte, deren Maße und Richtungen durch ah und bk dargestellt sein sollen. Wenn nun bk bis ah verlängert, eh = bk gemacht und aus ah, eh und ahe das Parallelogramm vollendet wird, so ist hr das Maß der Resultirenden und ihr Treffungspunkt o in dem Körper ihr Angriffspunkt.

β) Wirken zwei parallele gleiche oder ungleiche Kräfte auf einen Körper, nämlich auf verschiedene Punkte eines festen Körpers, so soll nun die Resultirende und ihr Angriffspunkt bestimmt werden. Wenn in a und b (Fig. 13.) auf die feste Linie ab in beliebiger Richtung die beiden Kräfte

m und n (ah, bk) parallel wirken, so lassen sich in a und b ohne Änderung des Erfolges zwei gleiche in der Richtung ab entgegen gesetzt wirkende Kräfte ad und be denken. Setzt man nun ad und m zur resultirenden af, so wie be und n zur resultirenden bg zusammen, verlängert af und bg bis sie einander in o treffen, so kann, wenn o mit a und b unveränderlich verbunden ist, statt der Punkte a und b auch o als Angriffspunkt der Kräfte angesehen werden. Nimmt man nun ot = af, ol = bg, qp || ab, oc || m || n an und konstruirt die Parallelogramme der Kräfte qr und ps; so heben oq = ad und op = be als gleiche entgegen gesetzt wirkende Kräfte einander auf und als Resultirende bleibt or + os = m + n, deren Richtung die ab in c so theilt, daß steht

m : n = cb : ca, weil
ad : m = ca : oc und
be : n = cb : oc ist.

Die Resultirende ist also eine Summe aus den einzelnen Kräften und ihr Angriffspunkt in der graden Verbindungslinie theilt dieselbe so, daß sich seine Entfernungen von den Angriffspunkten der Kräfte wie umgekehrt dieselben verhalten.

Für gleiche Kräfte liegt der Angriffspunkt der Resultirenden im Halbirungspunkte der Verbindungslinie der Angriffspunkte jener Kräfte.

Bilden m und n mit der ab nicht rechte, sondern gleiche schiefe Winkel, so wirkt die Resultirende unter demselben schiefen Winkel. Man kann auch für sie die aus ihrer Zerlegung erhaltenen senkrecht wirkenden Antheile nehmen.

Das obige Gesetz läßt sich auch so beweisen: Ist in c (Fig. 14.) die unbewegliche Axe einer kreisrunden drehbaren Scheibe, so wird sie durch ihren Widerstand die Scheibe bei jeder Lage im Gleichgewichte halten. Dieses Gleichgewicht muß auch dann stattfinden, wenn in beliebigen Punkten a und b der Peripherie gleiche Kräfte, deren Richtung und Größe durch af und bk dargestellt sein soll, senkrecht auf den Radien ca und cb wirken. Die Kraft af läßt sich in die beiden Seitenkräfte ad, welche durch den Widerstand der Axe aufgehoben wird und ao || bk auflösen. Die Kraft af läßt sich durch die größere ao ersetzen; letztere hat aber ihren Angriffspunkt e (statt a oder eines andern Punktes in der Richtung ao) näher dem Drehungspunkte c als die Kraft bk. Welches ist nun aber das Verhältniß der Entfernungen der Angriffspunkte b und e von dem Drehpunkte c, verglichen mit den Kräften bk = af und ao, oder wo ist der Angriffspunkt der Resultirenden? — Wegen △ afo ∾ △ aec steht:

ao : af = ac : ce oder
ao : bk = cb : ce d. ist
m′ : n = cb : ce wie oben.

Statt der Scheibe könnten blos die unter dem bestimmten Winkel acb mit einander verbundenen Radien ac und cb, woran in a und b die Kräfte af und bk rechtwinklich angreifen, genommen werden; dafür kann man nun die in e und b, den Endpunkten der eine unbiegsame Grade eb bildenden Linien ce und cb, ihre Angriffspunkte besitzenden Kräfte ao und bk nehmen.

Greifen in den drei Punkten a, b, c eines festen Körpers drei parallele gleiche Kräfte m, n, o an (Fig. 15.), so ist der Angriffspunkt d (ad = db) für die Resultirende p = 2 m aus den beiden ersten m und n und e der Angriffspunkt für die aus p und o sich ergebende q = 3 m, wenn ec = 2. ed ist. **In e, dem Mittelpunkte der parallelen Kräfte**, müßte also für den Fall des Gleichgewichtes eine den Richtungen

der drei Kräfte entgegen gesetzt wirkende, welche gleich m + n + o ist, angebracht sein.

Vom Schwerpunkte. Ein jeder materielle Körper kann als eine Vereinigung unendlich vieler materieller Punkte (Moleküle) angesehen werden, auf welche die Kraft der Schwere wirkt. Obwohl die Richtungslinien dieser Kräfte sich im Mittelpunkte der Erde treffen, so können sie für die Körper auf der Oberfläche derselben, welche eine nicht bedeutende Ausdehnung haben, als parallel angesehen werden und lassen sich durch eine einzige ersetzen, welche die Summe aller einzelnen Wirkungen der Schwere (das Gewicht) ist und deren Angriffspunkt der Schwerpunkt heißt. Ist also im Schwerpunkte eine der Richtung der Schwere entgegen gesetzt wirkende Kraft angebracht, so findet das Gleichgewicht statt, wenn sie dem ganzen Gewichte des Körpers gleich ist. Man kann daher irgend einen Körper von beliebiger Form und Größe als einen einzigen schweren Punkt betrachten, auf welchen nur eine einzige Kraft wirkt; es ist, als ob in dem Schwerpunkte das Gewicht des ganzen Körpers vereint wäre, so daß sein Festhalten oder Unterstützen zum Gleichgewichte des Körpers in allen seinen Lagen ausreicht. Für bestimmte mathematische Formen kann seine Lage theoretisch, für willkührliche Gestalten aber nur praktisch bestimmt werden.

Der Schwerpunkt einer Kugel von gleichmäßiger Beschaffenheit oder eines kreisförmigen Ringes liegt in ihrem Mittelpunkte; eines eckigen oder runden Stabes (Zylinders) in seiner Mitte; eines materiellen Dreieckes in dem Durchschnittspunkte derjenigen Linien, welche die Halbirungspunkte zweier Seiten mit den Scheiteln der Gegenwinkel verbinden (eines Vieleckes?); bei einer Tonne, einem Ringe, einem hohlen Zylinder in dem inneren Raume; einer dreiseitigen Pyramide in dem Durchschnittspunkte der zwei Linien, welche die Schwerpunkte zweier Begränzungstriangel mit den Spitzen der gegenüber liegenden Ecken verbinden; einer vielseitigen Pyramide? eines Kegels?

Da das Gewicht eines Körpers in seinem Schwerpunkte vereint gedacht werden muß, so sucht der Schwerpunkt auch die möglich tiefste Lage einzunehmen und der Körper kann nur dann im Gleichgewichte sein, wenn der Angriffspunkt der der Schwere entgegen gesetzt wirkenden Resultirenden
1) in dem Schwerpunkte selbst liegt: indifferentes Gleichgewicht;
2) senkrecht über dem Schwerpunkte: stabiles Gl., der Körper hängt;
3) senkrecht unter ihm: labiles Gl., der Körper balancirt.

Hängt man einen Körper hinter einander an zwei verschiedenen Punkten auf, so ist der Durchschnittspunkt der beiden verlängerten Richtungen des Fadens der Schwerpunkt. Der Schwerpunkt sucht bei einem um einen Punkt beweglichen Körper stets die tiefste Stelle unter jenem Punkte zu erlangen.

Sind in einer kreisrunden Scheibe (Fig 16.) von gleichmäßiger Beschaffenheit drei Öffnungen a, b, c (wovon a im Zentrum) angebracht, um durch sie Stifte zu stecken; so ist sie am Stifte a im indifferenten Gleichgewichte, wie ein Wagenrad; an dem Stifte in b im stabilen, wobei sie nicht eher zur Ruhe gelangt, als bis a senkrecht unter b liegt; an dem Stifte in c ist sie im labilen Gleichgewichte, was sehr leicht ins stabile umschlagen kann. Ist die Scheibe aus verschieden schweren Stoffen (Holz, Blei) zusammengesetzt und ihr Schwerpunkt etwa in der Peripherie des Kreises durch b und c (Fig. 17.), so wird sie auf einer horizontalen oder schiefen Ebene im Gleichgewichte sein, wenn die Senkrechte vom Schwerpunkte aus die unterstützende Fläche an der Berührungsstelle trifft, und zwar im stabilen, wenn der Schwerpunkt im tiefsten Punkte c; im labilen, wenn er im höchsten Punkte b dieser Senkrechten durch die Be-

rührungsstelle geht. Im letzten Falle wird bei der schiefen Ebene ein Aufwärtsrollen der Scheibe dann eintreten, wenn die Senkrechte oberhalb der Berührungsstelle die Ebene trifft, der Schwerpunkt aber sinkt dabei abwärts; ein Abwärtsrollen (wie weit?), wenn dies unterhalb geschieht. Die gleichmäßige Scheibe mit dem Schwerpunkte im Mittelpunkte rollt auf der schiefen Ebene nur abwärts. Indifferentes Gleichgewicht kommt hier gar nicht vor.

Der Doppelkegel scheint nur auf zwei divergenten und aufwärts gehenden Schienen aufwärts zu rollen; eine Billardkugel auf zwei Billardstäben; das Aufwärtsrollen eines Zylinders auf einer schiefen Ebene. Die Schraube des Archimedes; Wasserschnecke. Die Rolllampe des Kardanus; die Stocklaterne; das schwimmende Licht; der Schiffskompaß; das Stehaufmännchen; die Stehaufgläser; das Burzelmännchen; falsche Würfel; der chinesische Treppenläufer. Der künstliche Seiltänzer und der Sägemann sind im stabilen Gleichgewichte.

Das labile Gleichgewicht gelangt dadurch zu einer größeren Sicherheit, wird also gewissermaßen zu einem stabilen, daß nicht blos der Punkt, wo die Senkrechte vom Schwerpunkte unterhalb aus dem Körper heraustritt, unterstützt oder gehalten wird, sondern mindestens drei um ihn nicht in grader Richtung liegende Punkte (dreibeinige Tische, Statife) oder eine ganze Fläche, die den Körper um so besser ruhen macht, je mehr jener Treffungspunkt in ihrem Inneren liegt, je größer sie ist, je näher ihr der Schwerpunkt selbst liegt und je größer die Masse des Körpers ist.

Breitspurige Wagen fallen nicht so leicht um, als schmalgleisige, niedrige und tief beladene schwerer, als hohe und hoch beladene. Vorsichtsmaßregeln beim drohenden Umsturz. Pyramiden und Kegel stehen fester als Prismen und Zylinder von gleichem Gewichte und gleicher Beschaffenheit; schiefe Thürme in Pisa und Bologna; der Schiffsballast kommt in den untersten Schiffsraum. Ein Gewehr hebt sich, am Ende des Laufes gehalten, schwerer in horizontaler Richtung, als am Kolben, weil im letzteren Falle der Schwerpunkt einen kleineren Bogen zurück zu legen hat.

Ist a (Fig. 18.) der Schwerpunkt eines Quadersteines, b der eines gleich schweren und gleich hohen Metallstückes, so muß bei der Umkantung des ersteren a einen größeren Bogen zurück legen, als b beim letzteren; ist endlich c der Schwerpunkt eines eben so schweren Holzklotzes, so darf beim **Umkanten** sein Schwerpunkt nicht so weit gehoben werden, als beim Steine. Wird in allen drei Fällen der Punkt c noch ein wenig über die vertikale Lage hinausgehoben, so fällt der Körper auf eine andere Seite um: das stabile Gleichgewicht geht durch das labile wieder ins stabile.

Beim menschlichen Körper liegt der Schwerpunkt gegen die Mitte des Unterleibes; beim geraden Stehen fällt die Senkrechte von ihm innerhalb des Vierseites, welches die beiden Füße und die Verbindungslinie ihrer Enden begränzen. Durch Anwendung eines Stabes, oder durch Entfernung der Füße nach vorn (nur nicht in dieselbe Richtung) und hinten und in die Breite wird die Unterstützungsfläche vergrößert. Vierfüßige Thiere stehen im allgemeinen fester, als zweifüßige. Hebt man ein Bein, streckt man einen Arm aus, nimmt man eine Last auf eine der Seiten oder nach hinten oder vorn, so wird der Schwerpunkt stets verrückt, also auch die Lage der Senkrechten von ihm, und je näher sie an die Gränze der Unterstützungsfläche fällt, desto mehr neigt sich der Körper zum Falle, welcher dadurch verhindert werden kann, daß man die Masse auf der entgegen gesetzten Seite vergrößert. Das Gehen auf Ebenen, bergauf, bergab ist ein fortwährendes Fallen auf den jedesmal vorgesetzten Fuß und ein Heben mittelst der Muskelkraft; Lage des Körpers hierbei. Das Aufstehen von einem Stuhle; wodurch wird es unmöglich gemacht? Stelzenlaufen (auf zwei, auf einer); das Schlittschuhlaufen. Das Seiltanzen.

Einen Körper hält man um so leichter im labilen Gleichgewichte oder balancirt ihn, je schwerer der Körper ist, je weiter der Schwerpunkt über dem Unterstützungspunkte liegt und je länger der Körper ist. Fällt die Senkrechte vom Schwerpunkte neben die unterstützte Stelle, so hat diese nicht das ganze Gewicht zu tragen, was man mit dem Finger u. s. w. bei einer bestimmten Entfernung des Schwerpunktes und einer bestimmten Neigung eines Körpers von gewisser Länge um so eher unterscheidet, je größer das absolute Gewicht ist; entfernt sich aber der Schwerpunkt vom Unterstützungspunkte bei einem Körper von einem gewissen Gewichte und einer gewissen Länge, so wird er, um eine gewisse Verrückung der Senkrechten von der Unterstützungsstelle zu bewirken, einen kleineren Bogen zurücklegen, als wenn er sich tiefer befindet; in jenem Falle kann man also eher die Zeit gewinnen durch Verrückung der Unterstützungsstelle den Körper vor dem Fallen zu schützen, als in diesem. Wenn endlich unter übrigens gleichen Umständen die Höhe des Körpers wächst, so wächst auch für einen bestimmten Ausschlagswinkel der von dem Endpunkte des Körpers beschriebene Bogen und läßt sich somit leichter beobachten. — Beim Balanciren kommt es also theils auf die Ausbildung des Gefühles für das Gewicht, theils auf die Schärfe des Auges für die Wahrnehmung des Ausschlagswinkels an.

Eine Feder ist schwer, ein Balken leicht zu balanciren; ein Degen leichter auf der Spitze, als auf dem Gefäße; eine lange Stange besser, als eine kurze.

B. Einfache Maschinen.

Eine Kraft kann unmittelbar nur dann auf einen Punkt wirken, wenn er in ihrer Richtung liegt; befindet er sich außerhalb derselben, so bedarf man dazu besonderer einfacher oder zusammengesetzter Vorrichtungen, welche man **Maschinen** nennt. Da hier von einer sichtbaren Wirkung der Kräfte, sie mögen auf dem Massendrucke, der Expansivkraft u. s. w. beruhen, oder Muskelkräfte sein, die Rede ist, so müssen alle Maschinen zum Hauptzwecke die Bewegung der Massen haben. Das einer Kraft entgegen stehende Hinderniß pflegt man **Last** zu nennen. Da nun anzuwendende Kräfte nicht in jeder beliebigen Größe zu Gebote stehen, so müssen die Maschinen die Mittel darbieten durch eine bestimmt begränzte Kraft verschiedene Erfolge zu erreichen. Maschinen heißen **einfache**, wenn bei ihnen nur zwei Kräfte (Kraft und Last) vorkommen, die einander nicht gradlinig entgegen gesetzt wirken; **zusammen gesetzte**, wenn ihre Bestandtheile selbst wieder Maschinen sind.

Jede Maschine muß die Mittel darbieten die Resultirende der an ihr wirksamen Kräfte zu vernichten, oder das Gleichgewicht der Kräfte herzustellen, was entweder durch einen in der Richtung der Resultirenden liegenden festen Punkt oder durch eine auf dieser Richtung senkrechte feste Fläche geschehen kann.

a) Der Hebel.

Wirken an einer unbiegsamen, um einen bestimmten Punkt drehbaren Linie Kräfte, so heißt die Vorrichtung ein **Hebel** und die graden Linien von den Angriffspunkten der Kräfte bis zum festgehaltenen Punkte, den man **Drehpunkt** nennt, sind die **Hebelarme**. Nach der Lage des

Drehpunktes im Betreff der Angriffspunkte der Kräfte, nach der Beschaffenheit der Linie und der Richtung, in welcher die Kräfte auf die Linie einwirken, giebt es verschiedene Fälle.

a) Die Linie ist für senkrecht auf sie wirkende Kräfte eine grade und

1) der Drehpunkt ist der Mittelpunkt: der gleicharmige Hebel. Hierbei halten nach Seite 29 gleiche Kräfte einander das Gleichgewicht, und bei einem nur geringen Überschusse der einen erfolgt Bewegung mit gleichen Geschwindigkeiten, weil die Wege und Zeiten gleich sind.

Die gewöhnliche Kaufmannswage, Gleichwage; die Apothekerwage. — Die Wage besteht aus einem unbiegsamen Stabe, Wagebalken, welcher auf einer quer durch seinen Schwerpunkt gehenden horizontalen Axe ruht, aus einer in der Mitte senkrecht aufgesetzten, meist in einer Gabel oder an einem Kreisbogen hin und her spielenden Zunge und aus den an den Enden des Wagebalkens angehängten Wageschalen. Soll die Wage gut sein, so müssen die Wagebalken ohne Belastung, ferner auch mit den Wageschalen und endlich bei gleicher Belastung derselben eine horizontale Lage annehmen und bei einem auch ganz unbedeutenden Übergewichte in der einen Wagschale schon eine Drehung zeigen. Die durch den Kreisbogen zu messende Drehung heißt der Ausschlag. — Die horizontale Lage des Wagebalkens wird dadurch erreicht, daß der Drehpunkt desselben über seinem Schwerpunkte liegt; läge er darin, so wäre indifferentes; läge er darunter, so wäre labiles Gleichgewicht vorhanden. Verbindet man die Anhängepunkte a und b (Fig. 19.) der Wagschalen durch eine grade Linie, so kann diese durch den Drehpunkt c gehen, liegt der Schwerpunkt s senkrecht unter c, so ist stabiles Gleichgewicht vorhanden, wobei die angehängten gleichen Gewichte p und p nichts ändern; denn es könnten die Gewichte eben so gut in a und b unmittelbar angebracht sein, c bleibt Drehpunkt, nur daß der gemeinschaftliche Schwerpunkt jetzt zwischen c und s, also immer noch senkrecht unter c liegen würde. Bringt man aber bei b noch ein kleines Übergewicht q an, so rückt der Schwerpunkt der angehängten Lasten von c nach b hin, z. B. in den Punkt d und der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Lasten und des Wagebalkens fällt in einen Punkt r der ds, so daß r bei horizontaler Lage der ab nicht senkrecht unter dem Drehpunkte liegt, es muß also eine Drehung oder ein Ausschlag in dem Sinne erfolgen, welcher um so größer wird, je näher s an c rückt, weil auch dann r senkrecht aufwärts rücken muß. Fiele s in c, so wäre die Empfindlichkeit zu groß. Diese nimmt auch mit der Länge des Wagebalkens zu, denn in demselben Verhältnisse rückt auch d von c fort und r von cs in einer mit ab parallelen Richtung ab. — Endlich gewinnt die Empfindlichkeit durch vergrößerte Leichtigkeit des Wagebalkens. (Hohle Balken; nach dem Drehpunkte zu dicker). In d ist das Gewicht der Lasten 2p + q vereint, in s das Gewicht des Balkens; die Lage des gemeinschaftlichen zwischen s und d liegenden Schwerpunktes r hängt aber von der relativen Größe der in s und d wirkenden Kräfte ab: je kleiner s, desto mehr rückt r nach d und desto größer ist der Ausschlag.

Wie kann man eine unrichtige, dabei aber hinreichend empfindliche Wage noch gebrauchen?

2) Der Drehpunkt o (Fig. 20.) liegt der einen Kraft M näher, als der anderen N: der ungleicharmige Hebel. Wird der Hebel ab aus der Gleichgewichtslage in die Lage *αβ* gebracht, so beschreibt b und die daran angreifende Kraft einen so viel mal größeren Weg, als a, wie oft ao in ob enthalten ist, z. B. n mal. Wären nun auch die in a und b angreifenden Kräfte gleich, so würde doch in b das bewegende Moment n mal größer, als in a sein, es müßte also, wenn Gleichgewicht statt finden sollte, die Kraft in b nur $\frac{1}{n}$ von der in a sein. Es verhalten sich

für die Gleichgewichtslage auch hier die Kräfte wie umgekehrt die Hebelarme: (Seite 29.) M : N = ob : oa. An dem längeren Arme greift also stets die kleinere Kraft an. Bei der Störung des Gleichgewichtes legt die kleinere Kraft N einen größeren Weg zurück, als die größere Kraft M und da sich $b\beta : a\alpha$ = ob : ao verhält, so steht auch die Geschwindigkeit der Kräfte in umgekehrtem Verhältnisse zu den Kräften selbst: Geschw. v. M : Geschw. v. N = $b\beta : a\alpha$.

Mittel durch eine kleine Bewegung (z. B. eines Muskels) eine größere (eines Gliedes) zu erzeugen.

Aus der Proportion M : N = ob : oa folgt: M. oa = N. ob, d. h.: für das Gleichgewicht sind die Produkte aus den Kräften und ihren Entfernungen vom Drehpunkte, oder die statischen Momente, einander gleich. Als das statische Moment kann man die Kraft ansehen, welche man an dem Hebelarme 1 anbringen muß, wenn das Gleichgewicht nicht gestört werden soll. Statt daß nämlich z. B. Kraft 10 am Hebelarme 3 der Kraft 6 am Hebelarme 5 das Gleichgewicht hält, würde es Kraft 30 am Hebelarme 1 thun.

Die statischen Momente sind den Quantitäten der Bewegung zu vergleichen; die Kräfte bei jenen sind die Massen oder der durch die Materie ausgeübte Druck bei diesen und die Hebelarme bei jenen sind die Geschwindigkeiten bei diesen. Die Hebelarme verhalten sich auch wie die Geschwindigkeiten der Kräfte, wenn Bewegung eintritt.

Zu dieser Gattung von Hebeln gehören: die römische Schnellwage mit einem Laufgewichte an dem längeren Hebelarme oder mit einem verschiebbaren Drehpunkte (bleibt der unbelastete Balken in horizontaler Lage, so ist sie eine mathematische Schnellwage). Die Schere (Papier- und Blechschere), Zange, Hebelstangen (Hebeladen), Brechstangen, Pumpenschwengel, Steuerruder, Klaves beim Klavier, Klappen an Blasinstrumenten, Schaufelbretter; Ruder, welche auf den Bord des Schiffes gelegt werden; Stab über die Schulter, woran eine Last getragen wird.

Das Gleichgewicht wird am Hebel nicht gestört, wenn die Kräfte in gleichem Verhältnisse vergrößert oder verkleinert werden; oder auch, im Fall auf jeder Seite des Drehpunktes zwei oder mehre Kräfte wirken, wenn die Summe der statischen Momente für die beiden Hebelarme einander gleich sind.

Benutzung dieser Betrachtung für den physischen Hebel.

3) Der Drehpunkt liegt in einem Endpunkte der graden Linie: der einarmige Hebel. Bei den Hebeln unter 1 und 2 hat der Drehpunkt einen Druck auszuhalten, welcher der Summe der beiden Kräfte M und N, also M + N gleich ist; der Hebel würde also auch dann im Gleichgewichte sein, wenn der Punkt o (Fig. 21.) nicht fest, sondern beweglich wäre und in ihm die Kraft M + N in der Richtung wirkte, die den Richtungen der beiden anderen Kräfte entgegen gesetzt ist. Nun kann jeder der drei Punkte, also auch z. B. der Angriffspunkt b der Kraft N als fest angesehen werden und dann sind die Hebelarme der Kräfte: ab für M, ob für M + N und aus der Proportion

M : N = ob : oa folgt
(M + N) : (ob + oa) = M : ob oder
(M + N) : M = ab : ob; also auch beim einarmigen Hebel ver-

halten sich die beiden Kräfte ebenfalls wie umgekehrt die Entfernung ihrer Angriffspunkte vom Drehpunkte.

Beim einarmigen Hebel sind im Zustande des Gleichgewichts die Kräfte stets ungleich, so wie ihre Wege und Geschwindigkeiten, wofern das Gleichgewicht gestört wird. Anwendungen: Ventile, welche Öffnungen an Dampfkesseln verschließen; Heckselschneide, Schieb- und Schubkarren; Ruder, welche nur in der Hand gehalten werden; Hammer beim Gebrauche (das Hand- oder Armgelenke ist der Drehpunkt); Stangen, welche dazu dienen Lasten fortzuschieben, indem man sie mit dem einen Ende aufsetzt; Nußknacker.

Tragbahren und Stangen, welche an beiden Enden getragen werden und dazwischen belastet sind. An der in b und d (Fig. 22.) von den Kräften K und k gehaltenen Stange bd = e hänge in o die Last L, so ist

in Beziehung auf b als Drehpunkt L. a = k. e,

" " " d " " L. A = K. e; also

L. a : L. A = k. e : K. e oder

a : A = k : K und a. K = A. k. Ist a = A, so müssen die Kräfte gleich sein und dergl.

Die Theorie der Brückenwagen liegt in den Fällen 2 und 3.

Für die Theorie ist es gleichgiltig, welche Kräfte man sich denkt; im Praktischen aber wird meist Ersparung von Muskelkraft bezweckt, was nur dann erreicht wird, wenn ihr Hebelarm der längere, also ab ist (Fig. 21.). Ist die zu bewältigende Last unbedeutend, so kann die Muskelkraft auch zum kürzeren Arme ob gehören, wie z. B. bei Schafscheren, Pinseln, Federn und Stiften. Die belasteten Hände oder Arme; wodurch verschafft man sich hierbei Erleichterung? Nur weil die thätigen Muskeln sehr nahe am Drehpunkte der Glieder sind, können sie, ohne sich selbst bedeutend zu verlängern oder zu verkürzen, den Gliedern eine große Bewegung ertheilen und selbst bedeutende Lasten tragen. Wenn ein Mann, der selbst 120 Pfd. wiegt, auf seinem Nacken 200 Pfd. trägt und nur auf einem Fuße steht (wie es beim Gehen selbst in kurzen Zeiten geschieht); so haben die Muskeln an der Rundung des gebogenen Knies etwa 6. 320 = 1920 Pfd. zu tragen. Warum erscheint eine Stange beim Balanciren (im labilen Gleichgewichte) leichter, als wenn man sie in einer schiefen Lage hält?

β) Die beiden Kräfte K und L können unter einem schiefen Winkel auf den gradlinigen bei o drehbaren Hebel (Fig. 23.) einwirken.

1) Für parallele Kräfte. Werden die beiden unter einander parallelen, aber schief auf ab (Fig. $23._1$) wirkenden Kräfte af und bc in ihre Seitenkräfte zerlegt und zwar af in fg || ab und ag senkrecht auf ab, bc in ch || ab und bh senkrecht auf ab, so werden fg und ch durch den Widerstand von o aufgehoben und für ag und bh steht:

ag : bh = ob : oa, wegen $\triangle$ afg $\sim$ $\triangle$ bch auch
ag : bh = af : bc, also
af : bc = ob : oa, d. i. das frühere Gesetz.

2) Für nicht parallele Kräfte. Die schief wirkenden Kräfte K und L (Fig. $23._2$) müssen in ihre Seitenkräfte: K in fg und ag, L in ch und bh aufgelöst werden. Für K und L können nun die allein zur Wirksamkeit kommenden Seitenkräfte ag = k und bh = l gesetzt werden. Wenn nun od und oe die Senkrechten auf die Richtungslinien der Kräfte K und L sind, so geben sie ihre Entfernung vom Drehpunkte an. Wegen $\triangle$ afg $\sim$ $\triangle$ oad und $\triangle$ bhc $\sim$ oeb steht:

k : K = od : oa, also k. oa = K. od und
l : L = oe : ob, also l. ob = L. oe. Nun aber ist
k : l = ob : oa, also k. oa = l. ob, folglich auch
K. od = L. oe und K : L = oe : od, d. h.: es verhalten sich auch hier die beiden Kräfte wie umgekehrt die Entfernungen des Drehpunktes von ihren Richtungslinien (welche kleiner als die Hebelarme sind).

Schwengelbrunnen u. drgl.

γ) Die gradlinigen Hebelarme bilden einen Winkel: Winkelhebel. Wenn in a und b (Fig. 24.) die Kräfte af und bc auf den Winkelhebel aob wirken, od und oe senkrecht auf die Richtungslinien der Kräfte gezogen sind und überhaupt die obige Konstruktion vorgenommen wird, so gelten auch ganz die obigen Betrachtungen und es steht:

K : L = oe : od.

Die Kräfte müssen nicht in parallelen Richtungen wirken; sie können auf die Hebelarme senkrecht oder schief wirken. — Klingelzüge u. drgl.

δ) Der Hebel kann krummlinigt sein. Man verbindet die Angriffspunkte der beiden Kräfte mit dem Drehpunkte und kommt dadurch auf einen gradlinigen oder einen Winkelhebel jenachdem diese drei Punkte in derselben Richtung liegen oder nicht.

Thürklinken; Wiegemesser.

Bei allen Gattungen von Hebeln verhalten sich die Kräfte wie umgekehrt die Perpendikel vom Drehpunkte auf die Richtungslinien der Kräfte und ihre Geschwindigkeiten wie umgekehrt diese Entfernungen.

b) Rollen.

Es kommt bei der Wirkung des Hebels nicht darauf an, ob die Kräfte an graden oder krummen Linien angreifen, wenn nur die Hebelarme gegen einander und gegen die Richtung der Kräfte eine feste Lage haben. Man kann sich demnach auch einen massiven Körper denken, an dessen Umfange Kräfte angreifen. Es sei A (Fig. 25.) eine Scheibe aus einem festen Körper mit einer rinnenförmigen Vertiefung am Rande, um in sie eine absolut biegsam gedachte Schnur (ein Tau, eine Kette oder einen Riemen) zu legen und an diese Kräfte (z. B. Gewichte M und N) anzubringen, dabei sei sie drehbar um eine Axe, welche durch ihre Mitte geht und meist von einer Schere getragen wird. Wenn bei dieser Vorrichtung, der Rolle, parallele Kräfte M und N wirken, so ist sie nichts anderes, als ein gradliniger zweiarmiger Hebel mit gleichen Armen. Sind die Kräfte nicht parallel, so ist es ein Winkelhebel, bei welchem die Radien zugleich Hebelarme und Entfernungen des Drehpunktes von der Richtungslinie der Kräfte sind. Ist die Rolle nur um ihre unverrückbare Axe drehbar, so heißt sie fest, kann aber die drehbare Axe zugleich eine fortschreitende Bewegung annehmen, so heißt die Rolle beweglich.

α) Durch feste Rollen wird an Muskelkraft nichts gespart; sie dienen nur dazu ihr jede beliebige Richtung zu geben (Fig. 26.). — Vorrichtungen bei Hängelampen, Straßenlaternen. Gewöhnliche Ramm-Maschine.

β) Eine bewegliche Rolle erhält man dadurch, daß man die Schnur unterhalb der Rolle wegschlingt und sie mit beiden Enden nach oben führt, entweder parallel oder nicht parallel (gradliniger Hebel, Winkelhebel). Sie wird aber aus dem labilen Gleichgewichte dadurch in das stabile gebracht, daß man an die Gabel, in welcher die Axe ruht, unterhalb eine Last hängt.

1) Bei parallelen Schnuren (Fig. $27._1$) ist die eine Kraft K doppelt so weit von dem an der Peripherie befindlichen (veränderlichen) Drehpunkte a entfernt, als die andere Kraft L, (ab = 2. ao), daher:

$K : L = 1 : 2.$

2) Sind die Kräfte nicht parallel (Fig. $27._2$) und ist vom Drehpunkte a die ad senkrecht auf die Richtungslinie der Kraft K, so steht:

$K : L = ac : ad = ao : ab$, d. h. es verhält sich K : L wie der Halbmesser der Rolle zur Sehne des von dem Taue umfaßten Bogens.

Wie lange ab > ao, so lange spart man an Kraft; d. i. für einen Bogen $> 60^\circ < 300^\circ$.

c) Das Wellrad.

Man kann ferner zwei Rollen von ungleichem Durchmesser an dieselbe durch ihre Mitte gehende Axe befestigen und die eine Kraft an der Peripherie der großen, die andere an der Peripherie der kleinen Rolle wirken lassen. Diese Vorrichtung ist, wenn die beiden Kräfte parallel mit einander wirken, eigentlich ein ungleicharmiger gradliniger Hebel, bei welchem (Fig. $28._1$) steht:

$K : L = ob : oa.$

Je kleiner ob im Verhältniß zu oa, desto kleiner ist auch K gegen L. Wirken die Kräfte nicht parallel, so ist die Vorrichtung ein Winkelhebel (Fig. $28._2$). Diese Einrichtung läßt bei derselben Theorie vielerlei Abänderungen und Anwendungen zu Die kleine Scheibe kann sich bis zu einem Zylinder, einer Welle, ausdehnen und die große Scheibe kann ein Rad sein: Wellrad oder Radhaspel, wobei als Angriffspunkte der Kraft entweder seitwärts an der Peripherie befestigte Zapfen oder verlängerte Radien dienen (Fig. $29._{1,2}$); statt des Rades können blos Speichen angebracht sein: Kreuzhaspel (3); es kann auch eine einzige Speiche mit einer kurzen senkrechten Handhabe am Ende (Kurbel) als Angriffspunkt der Kraft dienen: Hornhaspel (4). Der Haspel, welchen man Grubenwinde nennt, hat immer eine horizontale Axe; stellt man dieselbe senkrecht, so heißt die Vorrichtung Winde (5): Erdwinde. — Hierher gehören auch die Tretscheiben (schiefe Lage), die Laufräder (senkrechte Lage), die Stufenräder, die Wasserräder, Windmühlflügel; ferner die gezahnten Räder, welche entweder Stirnräder sind, wenn die Hervorragungen oder Zähne in der Verlängerung der Radien liegen oder Kammräder, wenn die Zähne seitwärts an der Peripherie und senkrecht auf der Radfläche aufgesetzt sind. Haben gezahnte Räder, welche in Verbindung mit anderen angewendet werden, einen kleinen Durchmesser, so heißen sie Getriebe und ihre Zähne Triebstöcke statt welcher man auch kanelirte massive oder hohle aus Stangen mittelst zweier Kreisscheiben zusammen gesetzte Walzen nehmen kann. (Fig. 30.).

Überall verhält sich die Kraft (an der Peripherie des Rades)

zur Last (an der Peripherie der Welle), wie der Radius der Welle zum Radius des Rades.

Hierher gehört die Theorie der Schlüssel: die Last (der Widerstand der Feder des Schlosses) ist am Barte, die Kraft am Griffe angebracht; der Drehpunkt für beide liegt in der Längenaxe des Schlüssels. Ähnlich verhält es sich mit dem Bohrer; je breiter der Griff desto vortheilhafter; schiefe Ebene hierbei.

Die Räder eines fortbewegten Wagens werden nur wegen der Reibung, welche sie an der Peripherie erfahren, um ihre Axe gedreht; im Winter gleiten sie daher leicht ohne sich zu drehen. Bildet die Straße eine horizontale harte Ebene, so trägt sie das Gewicht des Wagens ganz und das Zugvieh braucht nur die Umdrehung der Räder zu bewirken. Dieser Kraft wirkt aber die Reibung an der Axe als Last entgegen. Nun steht aber: K : L = der Radius der Axe zum Radius des Rades, also muß man die Axe so dünn (eiserne) und den Durchmesser des Rades so groß als möglich zu machen suchen.

d) Die schiefe Ebene.

Wenn sich ein Körper auf einer unter dem Winkel α gegen den Horizont kg (Fig. 31.) geneigten Ebene, schiefen Ebene, befindet, so entsteht die Frage: durch welche Kraft wird er im Gleichgewichte gehalten? Wir wollen uns die beiden wichtigsten Fälle denken.

α) Die Kraft wirke in der Richtung der schiefen Ebene kf. Wenn der aufgelegte Körper seinen Schwerpunkt in o hat und sein absolutes Gewicht M durch ob dargestellt ist, so muß diese absolute Kraft in die zwei Seitenkräfte oc, senkrecht auf fk und oe || fk aufgelöst werden. oc zeigt den senkrechten Druck auf die schiefe Ebene an — drückende Kraft — und wird durch ihren Widerstand aufgehoben; oe giebt die Kraft an, womit der Körper herabgleiten will — die gleitende oder respektive Kraft und ihr muß N das Gleichgewicht halten, wenn der Körper ruhen soll und es steht:

$N : M = oe : ob$; weil $\Delta\, oeb \sim \Delta\, fkg$, so ist

$fg : fk = oe : ob$, also auch

$N : M = fg : fk$, d. h.: Wenn sich Kraft und Last zu einander verhalten wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge, so findet Gleichgewicht statt.

N wird um so größer sein müssen, je höher oder steiler die schiefe Ebene für eine bestimmte Länge wird. Fiele fk in fg oder wäre die Ebene senkrecht, so wäre $M = N$.

Wenn die absolute Kraft a, die drückende d, die respektive r, und h die Höhe fg, l die Länge fk und b die Basis kg der schiefen Ebene heißen, wie drückt man dann folgende Proportionen

$r : a = h : l$,

$r : d = h : b$,

$d : a = b : l$ aus?

Aus der ersten Proportion folgt:

$r = \frac{h}{l}\, a = a.\sin\alpha$; aus der dritten

$d = \frac{b}{l}\, a = a\cos\alpha$, u. s. w.

Die Länge einer schiefen Ebene sei 30′, ihre Höhe 18′, eine darauf gelegte Last wiege 2 Zentner; mit welcher Kraft rollt sie herab, und mit welcher drückt sie auf die schiefe Ebene? — Wenn eine an einen Wagen von 3′ Höhe gelegte schiefe Ebene 12′ lang ist; mit welcher Kraft kann eine Last von 12

Zentnern darauf festgehalten werden? — Wenn der Neigungswinkel einer schiefen Ebene 30° beträgt, wie groß ist dann die gleitende Kraft für irgend eine Last?

Wächst die Schwere eines auf einer schiefen Ebene befindlichen Körpers, so wachsen die drückende und die respektive Kraft in gleichem Verhältnisse. Sind in Fig. 32., od und oe die Maße für das absolute Gewicht, so erklärt sich die Zeichnung sehr leicht.

Ein schwerer Frachtwagen ist schwerer anzuhalten, als ein leichter und rollt auch eher und mit größerer Kraft auf der schiefen Ebene abwärts. — Da nur die respektive Kraft den Körper auf der schiefen Ebene herabtreibt, so muß die Kraft nach der entgegen gesetzten Richtung etwas vergrößert werden, um ihn aufwärts zu bewegen, etwas vermindert werden, um ihn abwärts gleiten zu lassen. — Man bedient sich also der schiefen Ebenen mit Vortheil, um Lasten aufwärts (auf Wagen) und abwärts (von Wagen, in Keller) zu bewegen. — Steile Wege auf hohe Berge muß man zu vermeiden suchen; man führt also die Wege nicht grade aus, sondern man gelangt in Windungen auf Umwegen, die weniger steil sind, zur Höhe. Die Reibung ist unter übrigens gleichen Umständen dieselbe. — Bei Bauten zieht man es vor die Materialien auf schiefen Ebenen (Laufbrücken) in die Höhe zu bringen, als sie senkrecht zu ziehen. Schon die Alten haben sich bei ihren Riesenbauen wohl der schiefen Ebenen bedient.

β) Die Kraft wirke in der Richtung der Basis kg (horizontal) (Fig. 33.).

Wenn jetzt das absolute Gewicht M des Körpers, welches durch ob dargestellt sein soll, in die beiden Seitenkräfte oc senkrecht auf fk und oe || kg aufgelöst wird, so ist nur die oe ins Gleichgewicht zu setzen und es verhält sich

$N : M = oe : ob$; weil $\triangle oeb \sim \triangle fkg$, so ist
$fg : kg = oe : ob$, also auch
$N : M = fg : kg$, d. h.: **Wenn sich Kraft und Last zu einander verhalten wie die Höhe zur Basis der schiefen Ebene, so ist das Gleichgewicht vorhanden.**

Die Krafterſparniß ist in β geringer als in α.

e) Der Keil.

Ist abc (Fig. 34.) der senkrechte Querschnitt einer materiellen schiefen Ebene und legt man eine ihr kongruente adc mit der gleichen Kathete an sie, so ist das gleichschenklige Dreiseit abd der senkrechte Querschnitt eines dreiseitigen graden Prismas, welches ein **Keil** heißt, ab und ad sind seine **Seiten**, bd der **Rücken**, ac seine **Länge**. Die **Spitze** oder **Schneide** a des Keiles wird in den Spalt eines Körpers, welchen man trennen will, durch eine Kraft getrieben, welche senkrecht auf bd wirkt; der Widerstand oder die Last befindet sich an den Seiten ab und ad. Ist der Keil gleichmäßig in einen Spalt geschoben, so werden seine Berührungspunkte m und n mit ihm von a gleich weit abstehen, also $am = an$ sein. Nun wirken die Widerstände L senkrecht auf ab und ad, ihre verlängerten Richtungslinien schneiden einander wegen $\triangle amo \cong \triangle ano$ also in einem Punkte o oder ac und weil die $mo = no$ ist, so können sie als Maße der gleichen Widerstände angesehen werden. Da aber mo und no auf ao schief wirken, so müssen sie in ihre Seitenkräfte, die mo in me und eo, die no in ne und eo aufgelöst werden. Von diesen heben me und ne als (wegen $\triangle moe \cong \triangle noe$) gleiche und in grader Richtung entgegen gesetzt

wirkende einander auf; eo + co wirken der in c auf bd senkrechten K allein entgegen und müssen zusammen ihr gleich sein, soll das Gleichgewicht statt finden. Nun ist Δ eon $\sim \Delta$ cda, also:

eo : no = cd : ad, also auch

2 . eo : no = 2 . cd : ad oder

K : L = bd : ad, d. h.: die Kraft verhält sich zur Last, wie die Breite des Rückens zur Seitenlinie des Keiles.

Man spart bei Anwendung der Keile um so mehr an Kraft, je schmaler der Rücken im Verhältnisse zur Seitenlinie ist; oder schmale Keile sind bei Anwendung einer gewissen Kraft wirksamer, als breite. — Als Keile sind zu betrachten: Messer, die Schneiden der Schere, Meißel, Axte (Schellart), Beile, Zähne, Nadeln, Nägel, Degen, Spieße, Pflüge. Man wendet Keile an bei Pressen (Ölpressen), um große Lasten z. B. Schiffe auf Werften etwas zu heben oder um Flächen an einander zu treiben.

f) Die Schraube.

So wie man zur Kraftersparniß die auf Berge führenden Straßen nicht in grader Richtung, sondern in weniger steilen Windungen anlegt, eben so kann man sich um die krumme Fläche eines Kegels oder eines Zylinders eine Fläche gewunden und an ihr Lasten bewegt denken.

Ist der rechtwinklige Δ abc (Fig. 35.) der senkrechte Querschnitt einer schiefen Ebene und die Peripherie der Grundfläche eines graden Zylinders genau der Grundlinie ac des Δ gleich, so wird, wenn man diesen um die krumme Seitenfläche des Zylinders legt a mit b zusammen fallen und ac sich an ihr heranwinden. Dadurch entsteht an der Zylinderfläche ein Schraubengang, dessen Höhe bc und Neigung der Winkel a ist. Nun kann man sich diesen Triangel wiederholt so umgelegt denken, daß stets der Punkt a des Triangels bei der neuen Umlegung in den Punkt gelegt wird, wohin b vom vorigen Triangel fiel und so entsteht die um den Zylinder laufende Schraubenlinie. Man kann sich also ein Rektangel denken, dessen Basis dem Umfange des graden Zylinders, dessen Höhe der Höhe des Zylinders gleich ist, die Höhe bd in gleiche Theile zerlegen, durch die Theilungspunkte Parallele zur Basis und in den erhaltenen Rektangeln die parallelen Diagonalen zeichnen; so geben die Diagonalen bei der Umwickelung des Zylinders durch das ganze Rektangel die Schraubenlinie. — Wird nun diese Schraubenlinie als eine keilförmige Vertiefung auf einen massiven Zylinder eingeschnitten, so bekommt man die Schraubenspindel (scharfe und flache Schraubengewinde), wird sie aber ebenso in die innere Wand einer zylindrischen Höhlung eingeschnitten, so ist dies die Schraubenmutter. Sollen beide Theile mit einander anwendbar sein, so müssen die Erhabenheiten der Spindel in die Gänge der Schraubenmutter passen und sich ohne große Reibung an und in einander bewegen lassen; dabei werden also die Erhabenheiten der einen an den Vertiefungen der anderen hingeschoben. Wirkt die Kraft am Umfange der Spindel wagerecht drehend auf die senkrecht stehende feste Mutter oder überhaupt in der auf der Axe der Schraube senkrecht stehenden Ebene, so ist es grade so, als wenn bei einer (gegen den Horizont) schiefen Ebene mit horizontaler Basis eine Last durch eine wagerechte Kraft auf- oder abwärts geschoben oder gezogen würde und da sich dort K : L wie die Höhe zur

Grundlinie der schiefen Ebene verhält, so verhält sich hier die **Kraft zur Last wie die Höhe eines Schraubenganges zum Umfange der Spindel.**

Je näher die Schraubengänge einander liegen (flache Gänge) und je größer ihr Umfang ist, desto mehr spart man an Kraft oder desto wirksamer ist sie. — Für den Erfolg ist es einerlei, welcher von beiden Theilen festgehalten wird; auf den andern wirken die Kräfte. Meistens ist die Schraubenmutter befestigt und die Spindel wird gedreht, aber nur bei kleinen Schrauben durch eine an ihrem Anfange selbst oder an der Peripherie einer kleinen Kreisscheibe angebrachte Kraft. Mikrometerschraube.

Wenn eine ausgehöhlte schiefe Ebene um einen schief gegen den Horizont geneigten Zylinder, welcher um seine Axe drehbar ist, sich befindet; so kann ein darauf befindlicher leicht verschiebbarer Körper, z. B. eine Kugel, durch Drehung des Zylinders aufwärts bewegt werden. Einrichtung für die sogenannte Wasserschnecke.

Selbst wenn eine gedrehte Schraubenspindel mit fester Axe auch nur einige Schraubengänge hat, so wird sie, wenn ihre Vertiefungen die Zähne eines gezahnten Rades (oder die erhabenen Gänge einer Spindel) aufnehmen, schon im Stande sein, dieses fortwährend sanft zu drehen: Schraube ohne Ende.

C. Einige zusammen gesetzte Maschinen.

1) Hebelsysteme. Man kann aus ungleicharmigen Hebeln ein System bilden. Wenn z. B. von drei Hebeln, bei welchen das Verhältniß der Hebelarme $= 1 : a$ ist, das kürzere Ende des vorhergehenden immer auf das längere des nachfolgenden wirkt, so steht:

$K : L' = 1 : a$

$L' : L'' = 1 : a$

$L'' : L''' = 1 : a$, woraus sich ergiebt

$K : L''' = 1 : a^3$. Aber Geschw. v. K. : Geschw. v. $L = a^3 : 1$.

Geringe Brauchbarkeit dieser Vorrichtung. Die Dezimal-Brückenwage.

2) Potenzflaschenzug. Man kann das Ende des Taues einer beweglichen Rolle, woran die Kraft K (Fig. 36,[1]) wirkt nach der Axe einer zweiten beweglichen Rolle führen, das nicht befestigte Ende des Taues von dieser zur Axe einer dritten und so beliebig fortfahren. Dann steht für eine parallele Lage der Taue:

$$\left.\begin{aligned} K : K'' &= 1 : 2 \\ K'' : K' &= 1 : 2 \\ K' : L &= 1 : 2 \end{aligned}\right\} \text{ also } K : L = 1 : 2^3;$$

bei n beweglichen Rollen: die n^{te} Kraft : $L = 1 : 2^n$ d. h.?

Zuletzt leitet man das freie Ende des letzten Taues noch über eine feste Rolle, die zur Kraftersparniß nichts beiträgt. Diese Vorrichtung heißt weßhalb der Potenzflaschenzug? — Übrigens steht noch: Geschwind. von K : Geschw. v. $L = 2^n : 1$; daher das Unpraktische der Vorrichtung.

3) Der einfache Flaschenzug. Man kann auch abwechselnd das Tau um eine feste und eine bewegliche Rolle schlingen und zwei Systeme, Kloben, von gleich vielen festen und beweglichen Rollen verbinden, wie Fig. 36,[2]. Das obere System an einer gemeinschaftlichen Schere (Gehäuse) enthält feste, das untere aber bewegliche Rollen; an die Schere des letzteren ist die Last gehängt und die Kraft wirkt am freien Ende des Taues bei K. Die Last wird z. B. bei drei Rollen für jeden Kloben an den sechs zwischen den Kloben befindlichen Tauen gleichmäßig getragen, so

daß auf jedes $\frac{1}{6}$ Last kommt; dieses $\frac{1}{6}$ Last muß von dem eben so großen K im Gleichgewichte gehalten werden; also verhält sich

$$K : L = \frac{1}{6} L : L = 1 : 3.2$$ oder allgemein bei n Rollen in jedem Kloben

$$K : L = 1 : n.2$$ und Geschw. v. K : Geschw. v. L = n. 2 : 1; denn beim Heben der Last wird jedes der n. 2 zwischen den Kloben befindlichen Seile um eben so viel verkürzt, um wie viel die Last steigt und deßhalb ist der Weg der Kraft das n. 2fache von dem der Last.

Man kann das Ende bei K noch unterhalb einer festen Rolle wegleiten, um eine horizontal wirkende (z. B eine thierische) Kraft anzuwenden. — Statt die Rollen über einander anzubringen, können sie auch in jedem Gehaüse neben einander sein.

4) Rädersysteme. Befestigt man (Fig. 37.) ein Getriebe an die Axe eines gezahnten Rades und bringt man zwei oder mehre Paare von solchen Rädern und Getrieben so in Verbindung, daß die Triebstöcke jedes vorangehenden Getriebes in die Zähne des nächst folgenden Rades eingreifen; so steht, wenn die Radien der Getriebe a, b, c, die der Räder A, B, C heißen:

$$\left.\begin{array}{l} K : L' = a : A \\ L' : L'' = b : B \\ L'' : L = c : C \end{array}\right\} \text{also } K : L = abc : ABC; \text{ d. h.:}$$

es verhält sich die an der Peripherie des ersten Rades angebrachte Kraft zu der an dem Umfange des letzten Getriebes oder der statt seiner angebrachten Welle befindlichen Last, wie das Produkt aus den Radien der Getriebe zum Produkte der Radien der Räder.

Wie verhalten sich die Geschwindigkeiten von K und L? — Da die letzte Welle oder das letzte Getriebe mit der Last L sich nur langsam bewegt, dagegen die vorher gehenden Getriebe mit ihren Rädern um so schneller, je weiter sie von L entfernt sind, so kann durch ein kleines Uebergewicht bei L an dem ersten Rade eine vergrößerte Geschwindigkeit hervorgebracht werden. — Wie verhalten sich die Geschwindigkeiten des letzten und ersten Rades, wenn man auf die Anzahl der Zähne und Triebstöcke Rücksicht nimmt?

5) Schwungmaschine mit Schnurlaüfen. Die Fortpflanzung und Vergrößerung der Geschwindigkeit kann statt durch gezahnte Räder bei getrennten Rädern oder Scheiben nur durch Riemen, Seile, Schnuren, Ketten geschehen und dabei eine Bewegung entweder nach derselben Richtung (Fig. 38,[1]) oder nach der entgegen gesetzten (Fig. 38,[2]) erfolgen.

Wie verhalten sich die Geschwindigkeiten eines Punktes in jeder Peripherie? — Spinnräder, Schleifmaschinen, Drechselbänke, Zentrifugalmaschinen.

6) Einfache Winde. Will man größere Lasten z. B. Fuhrmannswagen, aufwärts drücken, so kann man eine in einem Gehaüse befindliche gezahnte Stange ab (Fig. 39.) mittelst eines Getriebes, an dessen Axe eine Kurbel mit der Kraft K befindlich ist, durch die Decke des feststehenden Gehaüses bewegen und auf die darüber befindliche Last wirken lassen. Die Kurbelaxe ist in dem unten aufzusetzenden Gehaüse in festen Lagern drehbar. Ist der Radius der Kurbel m, der des Getriebes n; so steht:

$$K : L = n : m;$$ und die Geschwindigkeiten?

7) Zusammen gesetzte Winde. Man kann natürlich den Erfolg für dieselbe Kraft vergrößern, wenn man ein Rädersystem anwendet. Das

Kurbelgetriebe greife (Fig. 40.) mit seinen Triebstöcken in die Zähne eines Rades vom Radius s, an dessen Axe ein zweites Getriebe mit dem Radius r befestigt ist und des letzteren Triebstöcke bewegen die Zähne der Stange. Beide Axen sind im Gehäuse drehbar befestigt. Es steht jetzt:

$K : L' = n : m$ und, $L' : L = r : s$ also $K : L = nr : ms$ d. h.? und die Geschwindigkeiten?

8) Der Krahn oder Kranich. Wenn statt des Getriebes am gezahnten Rade der zusammen gesetzten Winde eine Welle ist, um welche sich ein Tau schlingt (Fig. 41.), so können an diesem entweder unmittelbar Lasten gehoben werden oder das Tau geht über eine feste Rolle und trägt einen Flaschenzug, an dessen beweglichem Kloben eine Last hängt, die man heben soll. Sind die Radien der Kurbel und des Rades m und s, die des Getriebes und der Welle n und r und hätte jeder Kloben im Flaschenzuge x Rollen, so stände:

$$\left.\begin{array}{l} K : L' = n : m, \\ L' : L'' = r : s, \\ L'' : L = 1 : 2x \end{array}\right\} \text{ also } K : L = nr : ms.\,2x.$$

Hierbei kann also die Kraftersparniß sehr bedeutend sein; aber in demselben Verhältnisse nimmt auch die Geschwindigkeit der Last ab. Die Einrichtungen des Krahns können auch andere sein. Ist die ganze Vorrichtung horizontal drehbar, so können gehobene Lasten (z. B. aus Schiffsräumen) leicht seitwärts (aufs Land) gebracht werden.

9) Schraube mit Hebel. Wird bei einer Schraube senkrecht durch ihre Axe (Axe der Spindel oder Mutter) ein Hebel geführt wie z. B. beim Schraubenstocke, so verhält sich die Kraft zur Last, wie das Produkt aus der Höhe eines Schraubenganges und dem Radius der Spindel zum Produkte aus dem Umfange der Spindel und dem Hebelarme (bis zur Axe).

Diese Maschine gehört mit zu den wirksamsten. Wenn z. B. die Höhe von dem Umfange eines Schraubenganges $\frac{1}{40}$ und der Hebelarm 20 mal länger ist, als der Durchmesser der Schraube; so steht $K : L = 1 : 40.\,20$; d. h. z. B. mit einem Zentner Kraft könnte man 800 Zentner Last im Gleichgewichte halten, wenn keine Reibung stattfände. Aber die dadurch hervorgebrachte Geschwindigkeit ist in demselben Verhältnisse geringer. — Man kann durch diese Maschine entweder große Lasten heben oder einen großen Druck ausüben. Verschiedene Arten von Pressen für Buchbinder, Buchdrucker, Tischler, zum Pressen des Weines, Öles, zum Münzen, bei der Bohrung von artesischen Brunnen u. s. w., die Bohrer selbst.

Andere zusammen gesetzte Maschinen übergehen wir. Im allgemeinen findet man ihre Wirksamkeit, wenn man die Wirkungen ihrer Theile berechnet und die erhaltenen Zahlen multiplizirt.

II. Bewegung fester Körper.

In den vorangegangenen Betrachtungen handelte es sich um die Entwickelung der Gesetze des Gleichgewichtes ohne Rücksicht auf die in der Erfahrung sich darbietenden Beschränkungen. Bewegung aber tritt überall da ein, wo diesen Gesetzen nicht genügt wird; also wo eine Kraft nicht durch eine zweite oder die aus zweien resultirende nicht durch eine dritte u. s. w. aufgehoben wird. Sie kann stattfinden entweder im leeren Raume oder in einer tropfbaren oder elastischen Flüssigkeit. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich zunächst nur auf den ersten Fall. Was aber die bewegenden Kräfte anlangt, so können wir uns denken, daß nur eine

Kraft wirkt und zwar entweder momentan oder kontinuirlich und im letzteren Falle entweder konstant oder veränderlich; ferner daß zwei Kräfte wirken a) in derselben Richtung α) mit einander, β) gegen einander; b) unter einem Winkel und dabei entweder beide momentan oder eine momentan und die andere kontinuirlich (konstant oder veränderlich); endlich daß mehre Kräfte unter gleichen Umständen wirken.

A. Wirkt eine Kraft momentan, so bewegt sie einen Körper (schwer gedachten Punkt) in alle Ewigkeit in gleichen Zeiten durch gleiche Raüme.

B. Wirken zwei momentane Kräfte a) in derselben Richtung α) mit einander, so bewegen sie den Punkt mit der Summe der Geschwindigkeiten, die sie einzeln ihm geben würden, β) wenn gegen einander, mit der Differenz dieser Geschwindigkeiten. b) Wirken zwei Kräfte unter einem Winkel, so ist die Geschwindigkeit des Punktes durch die Diagonale des Parallelogramms der Kräfte bestimmt.

C. Es wirke eine Kraft konstant und kontinuirlich.

a) Der freie Fall.

Eine der alltäglichsten Bewegungen ist die fallender, d. h. sich der Erde mehr und mehr nähernder Körper. Wird ein Körper, welcher spezifisch schwerer ist, als das umgebende Fluidum, seiner Stütze beraubt, so zeigt sich zufolge der Erdanziehung die Erscheinung des Fallens. Obwohl nun die anziehende Kraft mit zunehmender Entfernung des angezogenen Körpers von dem anziehenden abnimmt, so kann sie wegen der sehr großen Entfernung des Erdmittelpunktes, als des Zentrums der Anziehung und wegen der verhältnißmäßig unbedeutenden Strecken, durch welche Körper an der Erdoberfläche fallen, als eine sich gleich bleibende Größe angesehen werden.

Wirkt auf einen Punkt eine Kraft nur augenblicklich ein, so ertheilt sie ihm eine gleichförmige Geschwindigkeit, die ihm nach dem Beharrungsgesetze stets bleiben würde; wenn aber eine bestimmte Kraft ununterbrochen auf ihn in der Richtung seiner Bewegung einwirkt, wie es mit der Schwere bei einem losgelassenen Körper der Fall ist, so muß sie seine Geschwindigkeit fortwährend gleichmäßig beschleunigen.

Hätte der Punkt am Ende der ersten Sekunde die Geschwindigkeit a erlangt, so würde er unter der ersten Voraussetzung in der zweiten Sekunde nur den Weg a (Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde) zurück legen; aber nach der zweiten Annahme wirkt die beschleunigende Kraft der Erde auch im Verlaufe der zweiten Sekunde so auf ihn, daß sie ihm für sich am Ende der zweiten Sekunde die Geschwindigkeit a ertheilt hat; es ist also die Endgeschwindigkeit der zweiten Sekunde 2 a. Mit dieser allein würde der Punkt nach dem Beharrungsgesetze in der dritten Sekunde den Weg 2 a durchlaufen; aber die konstant und stetig wirkende Erde beschleunigt ihn auch in der dritten Sekunde so, daß er durch sie allein wieder dieselbe Endgeschwindigkeit a erlangt haben würde; also muß die Endgeschwindigkeit der dritten Sekunde $2a + a = 3a$ und ebenso die vierten $3a + a = 4a$ u. s. w., die der n^{ten} Sekunde na sein, d. h.: die Endgeschwindigkeiten eines frei fallenden Körpers wachsen wie die Zeiten oder wie die ganzen

Zahlen in ihrer natürlichen Reihenfolge. Die Endgeschwindigkeit e in der n^{ten} Sekunde ist $= na$.

Weiß man nun die Endgeschwindigkeiten für die einzelnen Sekunden, so läßt sich nun auch bestimmen, welches der Fallraum in der 1sten, 2ten, 3ten ..... nten Sekunde ist. Der Fallraum in irgend einer Sekunde ist nämlich wegen der gleichmäßig zunehmenden Geschwindigkeit genau das Mittel zwischen der am Anfange und der zu Ende der Sekunde statt findenden Geschwindigkeit. Nämlich:

Geschw. am Anfange der 1sten Sek. ist 0, am Ende a, Mittel $\frac{1}{2}a$;
" " " " 2ten " a, " " 2a, " $\frac{3}{2}a$;
" " " " 3ten " 2a, " " 3a, " $\frac{5}{2}a$;
" " " " nten (n-1)a, " " na, " $\frac{2n-1}{2}a$;

d. h. die Fallraüme der einzelnen Sekunden wachsen wie die ungraden Zahlen 1, 3, 5, 7 ..... (2n—1), wobei also $\frac{a}{2}$ der Fallraum der ersten Sekunde ist.

Aus den Fallraümen für die einzelnen Sekunden läßt sich endlich der ganze Fallraum r in einer beliebigen Anzahl n von Sekunden bestimmen und zwar durch Addition der einzelnen Fallraüme von der ersten Sekunde an; dadurch entstehen aus

$\frac{a}{2}, \frac{3a}{2}, \frac{5a}{2}, \frac{7a}{2} \ldots\ldots \frac{(2n-1)a}{2}$ oder aus

$1.\frac{a}{2}, 3.\frac{a}{2}, 5.\frac{a}{2}, 7.\frac{a}{2} \ldots\ldots (2n-1).\frac{a}{2}$ die Zahlen

$1.\frac{a}{2}, 4.\frac{a}{2}, 9.\frac{a}{2}, 16.\frac{a}{2}, \ldots\ldots n^2.\frac{a}{2}$, also allgemein $r = n^2\frac{a}{2}$;

d. h. die Fallraüme der ganzen Zeiten verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

Aus den beiden Grundformeln

1) $e = na$,

2) $r = n^2.\frac{a}{2}$ ergeben sich nach algebraischen Betrachtungen u. a.:

3) $n = \frac{e}{a}$ aus 1.

4) $n = \sqrt{\frac{2r}{a}}$ aus 2.

5) $r = \frac{e^2}{2a}$ durch Elimination des n aus 1. und 2.

6) $e = \sqrt{2ar}$ aus 5.

7) $r = \frac{n}{2}e$ oder $2r = ne$, d. h. wenn der Punkt sich mit der am Ende der nten Sekunde erlangten Geschwindigkeit n Sekunden lang fortbewegte, so würde er einen doppelt so großen Weg zurücklegen, als bereits geschehen. — Welche Fragen werden überhaupt durch obige Formeln beantwortet?

Um die Bewegung eines senkrecht fallenden Körpers langsamer zu machen und die obigen Gesetze beobachten zu können, dient die atwoodsche Fallmaschine. Hängen an den Enden einer Schnur, welche über eine sehr leicht um ihre horizontale Axe bewegliche Rolle geschlungen ist, gleiche Gewichte n und n, so halten sie einander im Gleichgewichte. Legt man aber auf der einen Seite noch ein kleines Gewicht r zu, so fallen die Gewichte n + r, während n steigt. Weil aber die Schwerkraft des Übergewichtes r, welches hier allein die Bewegung hervorzubringen hat, nicht blos die Masse r, sondern die Masse 2n + r in Bewegung zu setzen hat, so muß auch die Bewegung so viel mal geringer

sein, wie viel mal r in $2n + r$ enthalten ist. Wäre $r = 1$ und $n = 7$, also r in $2n + r$ fünfzehn mal enthalten, und fiele r jetzt in einer Sekunde durch 1 Fuß, so würde es frei fallend durch 15 Fuß fallen müssen, weil in diesem Falle die Intensität der beschleunigenden Kraft 15 mal größer ist.

b) Der Fall auf der schiefen Ebene.

Zur Bestimmung des ganzen Fallraumes r in n Sekunden ist die Darstellung der absoluten Größe des Fallraumes $\frac{a}{2}$ in der ersten Sekunde erforderlich. Seine Auffindung und überhaupt die Bestätigung obiger, durch Reflexionen gefundenen Fallgesetze würde durch die Beobachtung an der Bewegung frei fallender Körper nicht wohl ausführbar sein, weil die Geschwindigkeit bald eine zu bedeutende wird und sich auf diese Weise zu leicht Fehler einschleichen würden. Außer der Fallmaschine giebt nun die schiefe Ebene noch ein Mittel, die obigen Gesetze der Beobachtung zugänglich zu machen. Nämlich die Geschwindigkeit eines auf einer schiefen Ebene herabgleitenden oder rollenden Körpers ist denselben Gesetzen wie die des frei fallenden unterworfen, weil auch hier eine konstante Kraft stets in derselben Weise stetig einwirkt, indem die Kraft der Schwere bei einer bestimmten Neigung der Ebene auch in einem bestimmten Verhältnisse vermindert, also die durch sie bewirkte Geschwindigkeit ebenso verkleinert wird. Nach bekannten Betrachtungen (Seite 38) verhält sich die respektive Kraft r (womit der Körper gleitet) zur absoluten a (womit er frei fällt), wie die Höhe h der schiefen Ebene zu ihrer Länge l. — Aber die Geschwindigkeiten E und e auf der schiefen Ebene und im freien Falle stehen gewiß im graden Verhältnisse mit den sie hervorbringenden Kräften. Es steht nun:

$$\left.\begin{array}{l} r : a = h : l \text{ und} \\ E : e = r : a \end{array}\right\} \text{also } E : e = h : l, \text{ d. h.}$$

die Beschleunigung auf der schiefen Ebene nimmt gegen die des freien Falles in demselben Verhältnisse ab, wie die Höhe zur Länge; oder die Geschwindigkeit auf ihr ist sovielmal weniger beschleunigt, wievielmal sein Weg auf ihr länger ist, als der im freien Falle von derselben Höhe.

Da die Beschleunigung des Falles auf der schiefen Ebene dem Verhältnisse zwischen ihrer Länge und Höhe, also dem Sinus des Neigungswinkels α proportional ist, so ist bei ihr

1) die Endgeschw. E nach der nten Sekunde $= na \sin \alpha$ und
2) der ganze durchlaufene Fallraum $R = n^2 \frac{a}{2} \sin \alpha$. Ferner:
3) $n = \frac{E}{a \sin \alpha}$ aus 1,
4) $n = \sqrt{\frac{2R}{a \sin \alpha}}$ aus 2,
5) $R = \frac{E^2}{2a \sin \alpha}$ aus 1 und 2,
6) $E = \sqrt{2aR \sin \alpha}$ aus 5,
7) $R = \frac{nE}{2}$ oder $2R = nE$.

Sollte ein Körper auf der schiefen Ebene dieselbe Endgeschwindigkeit erlangen, wie beim freien Falle, oder sollten e und E gleich sein, so würde das Verhältniß der Räume

$$r : R = \frac{e^2}{2a} : \frac{E^2}{2a \sin \alpha},$$ weil $c = E$, übergehen in

$$r : R = \sin \alpha : 1 = \frac{h}{l} : 1 = h : l,$$ d. h.

die Wege r und R, nach deren Zurücklegung der Körper im freien Falle und auf der schiefen Ebene gleiche Geschwindigkeit erlangt hat, müssen sich wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebene verhalten.

Oder da in den Formeln

1) für den freien Fall $c = \sqrt{2ar}$ und

2) für den Fall auf der schiefen Ebene $E = \sqrt{2aR \sin \alpha}$

r die Höhe und R die Länge der schiefen Ebene vertritt und demnach $r = R \sin \alpha$ ist, so ist auch $c = E$, d. h. es wird ein Körper, welcher die ganze Länge einer schiefen Ebene zurückgelegt hat, an ihrem Ende dieselbe Endgeschwindigkeit erlangt haben, wie wenn er frei fallend die Höhe der schiefen Ebene durchlaufen hätte. Wenn demnach zu derselben Höhe schiefe Ebenen von verschiedenen Neigungswinkeln gehören, so hat ein auf ihnen fallender Körper an den Enden gleiche Geschwindigkeiten erlangt.

Wenn bc (Fig. 42.) die gemeinschaftliche Höhe der schiefen Ebenen bac, bgc, bkc und darüber der Halbkreis bdefc gezeichnet ist, so steht

bi : bd = bd : bc,

bm : be = be : bc u. s. w., d. h. es werden auf diesen schiefen Ebenen, da bd : bc, be : bc u. s. w. immer das Verhältniß der respektiven Kraft zur absoluten bedeutet (r : a = h : l), die Antheile bd, be, bf in derselben Zeit durchlaufen, in welcher der Körper frei von b bis c fällt, so daß auch die in d, e, f und c erlangten Geschwindigkeiten einander gleich sind, oder: alle durch den Anfangspunkt eines senkrechten Durchmessers gehende Sehnen werden in derselben Zeit als der Durchmesser selbst durchlaufen.

D. Es wirken zwei Kräfte, die eine konstant und kontinuirlich, die andere momentan.

a) In derselben Richtung

α) mit einander: der senkrechte Wurf abwärts.

Wird ein Körper außer durch die Schwere auch noch durch einen augenblicklichen Impuls, der ihm die Geschwindigkeit g zu geben im Stande ist, senkrecht abwärts getrieben, so bewegt er sich

in der 1sten Sekunde durch den Weg $g + \frac{a}{2}$

= = 2ten = = = = $g + 3 . \frac{a}{2}$

= = 3ten = = = = $g + 5 . \frac{a}{2}$

= = nten = = = = $g + (2n-1) . \frac{a}{2}$; also legt er

in 1 Sekunde den Weg $g + \frac{a}{2}$

= 2 = = = $2g + 4 . \frac{a}{2}$

= 3 = = = $3g + 9 . \frac{a}{2}$

= n = = = $ng + n^2 . \frac{a}{2}$ zurück und hat die Geschwindigkeit $g + na$ erlangt. Die Geschwindigkeit, welche der Körper nach einer bestimmten Zeit erlangt, ist gleich der Summe aus seiner ursprünglichen

Geschwindigkeit und derjenigen, die er durch den freien Fall in dieser Zeit erlangt hat, und eben so ist auch der Weg eine Summe.

β) gegen einander: der senkrechte Wurf aufwärts.

Wird ein Körper senkrecht aufwärts getrieben durch einen augenblicklichen Impuls, so muß er mit gleichförmig verzögerter Geschwindigkeit steigen, weil die Schwere ihn mit einer gleichbleibenden Kraft in entgegengesetzter Richtung, nämlich abwärts zieht; er muß also, so lange er noch in dem Bereiche der Erdschwere ist, in einem bestimmten Momente aufhören sich zu bewegen und dann wieder zurück fallen.

Wenn er n Sekunden lang stiege und die ihm mitgetheilte Geschwindigkeit g durch na ausgedrückt würde (wobei $\frac{a}{2}$ der Fallraum der ersten Sekunde, a die darin erlangte Endgeschwindigkeit sein soll), so könnte er nicht bis zu der Höhe $ng = n.na = n^2a$ steigen, weil er in diesen n Sekunden durch den Raum $n^2\frac{a}{2}$ fällt; sondern nur bis zu der Höhe $n^2a - n^2\frac{a}{2} = n^2\frac{a}{2}$, was zugleich der freie Fallraum in dieser Zeit ist, so daß die Zeiten, in denen er steigt und fällt, einander gleich sind. Er wird in dem Momente zu fallen beginnen, in welchem die durch den Wurf nach dem Beharrungsgesetze zu erreichende Höhe das Doppelte der Fallhöhe beträgt, wenn nämlich $ng = n^2a = 2\,(n^2\frac{a}{2})$ ist. Der mit der Geschwindigkeit g senkrecht aufwärts geworfene Körper steigt nur so lange bis diese Geschw. durch die in derselben Zeit n rückwärts wirkende Anziehungskraft der Erde ins Gleichgewicht gesetzt ist; also $g - na = 0$ und somit $g = na$ ist. Dies geschieht in $n = \frac{g}{a}$ Sekunden. In $g = na = e$ liegt aber, daß der Körper in dem Punkte, von welchem er senkrecht aufwärts geworfen wird, bei seinem Rückwege dieselbe Geschwindigkeit wieder erlangt, die er beim Hinwege hatte und dies gilt von jedem Punkte seiner Bahn.

Bei der Wurfgeschwindigkeit $g = na$ steigt der Körper in der

1ten Sekunde auf d. Höhe	$na - \frac{a}{2} = (2n - 1)\frac{a}{2}$
2 " " "	$na - 3\frac{a}{2} = (2n - 3)\frac{a}{2}$
3 " " "	$na - 5\frac{a}{2} = (2n - 5)\frac{a}{2}$
4 " " "	$na - 7\frac{a}{2} = (2n - 7)\frac{a}{2}$ u. s. w., d. h.:

die Räume der einzelnen Sekunden nehmen ab, wie die ungraden Zahlen, also müssen auch die Räume der ganzen Zeiten abnehmen, wie die Quadrate der natürlichen ganzen Zahlen.

So wie bei einem senkrecht aufwärts getriebenen Körper die nach einer gewissen Zeit erlangte Geschwindigkeit E die Differenz aus seiner ursprünglichen g und der ihm durch den freien Fall in dieser Zeit n zukommenden (na), also $E = g - na$ ist, ebenso ist der Weg R eine Differenz aus dem Wege, durch den ihn die Wurfkraft allein getrieben (ng) und aus dem Wege ($n^2\frac{a}{2}$), welchen er frei fallend zurückgelegt haben würde, also $R = ng - n^2\frac{a}{2}$.

Ist die einem Körper ertheilte Wurfgeschwindigkeit z. B. 120 Fuß, so beträgt sie

nach 1 Sekunde noch	$120 - 30 = 90$,
" 2 " "	$90 - 30 = 60$,
" 3 " "	$60 - 30 = 30$,
" 4 " "	$30 - 30 = 0$; nun fällt also der Körper.

Bliebe eine abgeschossene Kugel 12 Sekunden aus, so wäre sie in 6 Sekunden bis auf $6^2 . 15 = 540$ Fuß gestiegen und hätte eine Anfangsgeschwindigkeit von 180 Fuß gehabt.

Bei einer Wurfgeschwindigkeit von 1600 Fuß steigt der Körper $\frac{1600}{30} = 53\frac{1}{3}$ Sekunden lang und erreicht eine Höhe von $42{,}666\frac{2}{3}$ Fuß. — Prüfung des Schießpulvers.

b) In verschiedener aber gleich bleibender Richtung.

Es kann ein Körper in grader Richtung auch durch eine Kraft getrieben werden, welche gegen die Richtung der Schwerkraft unter einem Winkel wirksam ist; dieser Winkel kann ein rechter oder schiefer sein

α) Der horizontale Wurf.

Die Wurfkraft wirke horizontal in der Richtung der ab (Fig. 43.), das Maß der Geschwindigkeit sei ac = cd u. s. w., die Linien ai, ik, kl, lm bedeuten nach dem Verhältnisse der ungraden Zahlen die Fallraüme der einzelnen Sekunden, dann werden durch die Parallelogramme der Kräfte die Punkte e, f, g, h gefunden, in welchen der Körper sich nach 1, 2, 3, 4 Sekunden befindet. Da aber die Schwere kontinuirlich auf ihn einwirkt, so ist sein Weg keine gebrochene, sondern eine krumme Linie, die Parabel (halbe Parabel).

Die Wurfkraft treibt zwar also den Körper so viel seitwärts, als es ihrer Intensität entspricht, aber er befindet sich um so viel unter der Wurfrichtung, als er in derselben Zeit gefallen wäre; und er nähert sich um so viel der Erde, als es beim bloßen freien Falle geschehen wäre, aber so weit seitwärts, als es der Wurfkraft angemessen ist; er kommt demnach auch in derselben Zeit zur Erde, als wenn er nur frei gefallen wäre.

β) Der schiefe Wurf.

Die Wurfkraft treibe den Körper schief aufwärts in der Richtung der ab (Fig 44.) in den einzelnen Sekunden durch die Räume ac = cd u. s. w., so wird er, wenn ce, df, mg, ph die Fallräume in 1, 2, 3, 4 Sekunden sind, in einer durch a, e, f, g, h gelegten krummen Bahn, (Parabel) auf- und abwärts gehen, deren zwei Äste vom höchsten Punkte bis zu derselben horizontalen aq gleich gestaltet sind.

Wenn g die Geschwindigkeit des geworfenen Körpers, n die Anzahl der Sekunden, $\frac{a}{2}$ der Fallraum der ersten Sekunde ist, die vom Punkte a ausgehenden Theile (Abscissen) der am, wie z. B. ai mit x, die darauf Senkrechten (Ordinaten) bis zur krummen Linie, wie z. B. fi mit y bezeichnet werden; so ist $x = ng . \cos \alpha$ die Gleichung für die Abscissen,
$y = ng \sin \alpha - n^2 \frac{a}{2}$ die für die Ordinaten.

Am Anfange des Wurfes ist n, also auch x und q = o; da aber auch am Ende der Bahn y verschwindet, so muß für diesen Fall

$ng \sin \alpha = n^2 \frac{a}{2}$ oder $n = \frac{2g \sin \alpha}{a}$ sein und dieses ist die Dauer des Wurfes. Wird dieser Werth von n in $x = ng \cos \alpha$ gesetzt; so ist

$$x = \frac{2g \sin \alpha}{a}\, g . \cos \alpha = \frac{2g^2 \sin \alpha \cos \alpha}{a} = \frac{g^2 \sin 2\alpha}{a},$$ welches

die Weite des Wurfes angiebt. Die Wurfweite am wird kleiner, wenn der Erhebungswinkel bam = α wächst. Wenn $2\alpha = 90^0$, also $\alpha = 45^0$ ist, so erreicht x seinen größten Werth $\frac{g^2}{a}$. — Da der Körper in der einen

Hälfte seiner Bahn steigt, in der andern fällt und dazu auch gleiche Zeiten verbraucht, so erreicht er in $\frac{n}{2} = n' = \frac{g \sin \alpha}{a}$ Sekunden seine **größte Höhe**. Setzt man diesen Werth für n in die Gleichung

$y = ng \sin \alpha - n^2 \frac{a}{2}$, so ist $y = \frac{g^2 \sin^2 \alpha}{2a}$, woraus (im Vergleich mit der früheren Formel $r = \frac{e^2}{2a}$) folgt, daß der Körper so hoch steigt, als ein mit der Geschwindigkeit $g \sin \alpha$ senkrecht geworfener.

Natürlich wird hier überall von dem Widerstande der Luft abgesehen.

c) In verschiedener, aber veränderlicher Richtung.

α) **Die freie Zentralbewegung** (Revolution). Wenn der Punkt a (Fig. 45.) durch eine momentan wirkende Kraft eine Bewegung in der Richtung af erhält und zugleich ununterbrochen von einer bestimmten Kraft in dem festen Punkte o angezogen wird, so beschreibt er, wenn wir uns zunächst die Kraft in o gewissermaßen stoßweise in einzelnen Zeitabschnitten wirksam und für das Maß der Kräfte die Linien af und ae vorstellen, die Diagonale ab. Die erste Kraft würde ihn nach dem Beharrungsgesetze auch im zweiten Zeitabschnitte von b aus in der Richtung ab durch einen Weg bg = af treiben, wenn er nicht wieder von o um die bi = ae angezogen würde, weßhalb er genöthigt ist aufs Neue eine Diagonalrichtung, nämlich bc zu verfolgen. So würde nun a auf dem Umfange eines Polygons um o als Mittelpunkt sich bewegen. Denken wir uns aber die Zeitabschnitte, in denen o stoßweise wirkt unendlich klein, oder vielmehr die Wirkung kontinuirlich, so muß die Bahn eine krumme Linie sein.

Die den Punkt a stets nach o als dem Zentrum der Bewegung hinziehende Kraft heißt **Zentripetalkraft**, die ihn in jedem Punkte seiner Bahn nach der Richtung der Tangente forttreibende, **Tangentialkraft**. Halten beide Kräfte einander das Gleichgewicht und wirken sie rechtwinklig einander eintgegen gesetzt, so ist die krumme Linie eine Kreisperipherie; wenn nicht, eine andere krumme Linie, von denen die Ellypse besonders wichtig ist, wobei die Zentripetalkraft und der Winkel, unter welchem sie auf die Tangentialkraft einwirkt, eine veränderliche Größe besitzt.

Die Größe der Zentripetalkraft läßt sich immer auffinden, wenn man nur die Entfernung ao = r des angezogenen Punktes vom Zentrum und die Menge der Zeiteinheiten Z weiß, in welchen der Kreislauf vollendet ist. Wenn a in einer Zeiteinheit durch den Weg ab sich bewegte und dies ein kleiner Theil einer großen Bahn wäre, so könnte ab als grade Linie angesehen werden; wenn ferner von b aus die be senkrecht auf ao ist, so wäre ae = p das Maß für die Zentripetalkraft in derselben Zeit und es steht dann, wenn man sich von b aus noch den Durchmesser 2r denkt:

$p : ab = ab : 2r$, also $p = \frac{ab^2}{2r}$. Nun ist aber der in der Umlaufszeit Z durchlaufene Bogen $ab = \frac{2r\pi}{Z}$, so daß jetzt

$p = \frac{2r\pi^2}{Z^2}$ wird. Wenn also zwei Körper, z. B. zwei Planeten in verschiedenen Kreisperipherien mit den Radien r und R in den Zeiten z und Z sich bewegten, so würde das Verhältniß der Zentripetalkräfte

$p : P = \frac{2r\pi^2}{z^2} : \frac{2R\pi^2}{Z^2} = \frac{r}{z^2} : \frac{R}{Z^2}$ sein, also die Zentripetalkräfte sich wie die Halbmesser und wie umgekehrt die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten. Da aber nach dem allgemeinen Gravitationsgesetze die Kräfte, durch welche die Planeten von der Sonne angezogen werden, sich wie umgekehrt die Quadrate der Entfernungen verhalten, so steht auch:

$p : P = \frac{1}{r^2} : \frac{1}{R^2}$, also auch

$\frac{r}{z^2} : \frac{R}{Z^2} = \frac{1}{r^2} : \frac{1}{R^2}$, woraus folgt, daß

$z^2 : Z^2 = r^3 : R^3$ ist, d. h.: die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben der Halbmesser ihrer Bahnen.

Entdeckung der Asteroiden.

Die Planeten bewegen sich thatsächlich nicht in kreisförmigen, sondern in ellyptischen Bahnen, in deren einem Brennpunkte sich die Sonne befindet und weil (Fig. 45.) Δ abo $= \Delta$ afo $= \Delta$ bgo $= \Delta$ bco, also auch Δ abo $= \Delta$ bco ist, so beschreiben die Radienvektoren in gleichen Zeiten gleiche Flächenraüme. Demnach bewegen sich die Planeten in der Sonnennähe n (Fig. 46.) am schnellsten, in der Sonnenferne f am langsamsten. Sollen die ellyptischen Ausschnitte fgs und mns gleich sein für die in gleichen Zeiten zurück gelegten Bogen fg und nm, so muß in dem kleineren Bogen fg auch eine langsamere Bewegung stattfinden, und es wird auch die Tangentialkraft in fg kleiner sein, als in nm. Deßhalb fallen die Himmelskörper trotz ihrer Annäherung zum Zentralkörper nicht auf diesen.

β) Axendrehung (Rotation). Ist eine Linie (Schnur) ao (Fig. 45.) mit einem schweren Punkte a (Kugel) vorhanden, welche um den festen Punkt o gedreht wird, so bleibt die Schnur oa fortwährend durch die in jedem Punkte der Kreisbahn wirkende Tangentialkraft gespannt, so daß, wenn oa zertrennt oder a von o losgelassen wird, a in Tangentialrichtung fortflieht; deßhalb heißt auch hier die spannende Kraft Fliehkraft, Schwungkraft. Der Widerstand der Schnur bewirkt hier dasselbe, was oben die frei wirkende Zentripetalkraft und die Zentrifugalkraft hält der Zentripetalkraft das Gleichgewicht, ist ihr also gleich und wirkt in jedem Punkte der Bahn rechtwinklig entgegen gesetzt, so daß das von der Zentripetalkraft gesagte auch hier gilt, nämlich: die Schwungkraft wächst bei gleichen Massen in gradem Verhältnisse der Halbmesser der Bahnen und im umgekehrten quadratischen der Umlaufszeiten. Die Schwungkraft, also auch die Spannung des Fadens steht übrigens bei gleichen Radien auch im graden Verhältnisse zur rotirenden Masse.

Bestätigung dieser Gesetze durch die Schwungmaschine mittelst gleich oder ungleich schwerer Kugeln, die in gleichen oder ungleichen Entfernungen vom Zentrum der Bewegung angebracht sind, wobei sich auch leicht zeigen läßt, daß Gleichgewicht statt findet, wenn die Produkte aus den Massen und Geschwindigkeiten gleich sind.

Schwungkraft zeigt sich überall, wo eine Bewegung in einem Bogen oder eine Rotation um einen Punkt oder eine feste Linie statt findet. — Da der Schwingungspunkt eines Pendels durch die übrige Masse desselben weder be-

schleunigt, noch verzögert wird, so muß in ihm bei der Schwingung auch die größte Kraft liegen. Daher kommt es, daß der mit einem Stocke in einem Kreisbogen ausgeführte Schlag weder an der Spitze noch an dem Schwerpunkte am wirksamsten ist, sondern, wenn er von gleicher Dicke und Dichtigkeit ist und an dem einen Ende gehalten wird, in einer Entfernung von $\frac{2}{3}$ von der gehaltenen Stelle. — Das Spritzen bewegter nasser Räder, der Schleifsteine; die Getraidekörner gehen beim Mahlen von der Mitte des Mühlsteines nach und nach an die Peripherie; Wirkungen der Zentrifugaltrockenmaschine. Wichtigkeit der Schwungräder bei Maschinen verschiedener Art. — Das Losreißen eines Hammers von seinem Stiele während der Bewegung. Beim raschen Bewegen in einem Kreise muß man den Körper nach einwärts halten, um nicht fortgeschleudert zu werden. — Das Wasser in einem Gefäße wird nicht vergossen, wenn es rasch im Kreise geschwungen wird und der Boden stets nach der Peripherie gerichtet bleibt; Zentrifugalfahrbahn. — Zentrifugalwassermaschine, um durch offene, um eine vertikale Axe drehbare, nach oben divergirende Röhren, die unten im Wasser stehen und oben in eine Rinne münden, das Wasser zu heben. — Der Regulator an Dampfmaschinen zur Öffnung und Schließung der Sicherheitsventile. — Mittel, das durch Luft in Thermometerröhren getrennte Quecksilber wieder zusammen zu bringen. Wird eine Glaskugel mit etwas Wasser schnell um eine Axe gedreht, so hebt sich das Wasser und bildet eine Äquatorialzone; ist Quecksilber dabei, so muß dasselbe, weil die Schwungkraft bei gleicher Geschwindigkeit mit der Masse wächst, den mittelsten Theil dieser Zone bilden. — Da ferner die Schwungkraft bei gleicher Masse mit der Geschwindigkeit wächst, so muß ein Hammer mit längerem Holme kräftiger wirken, als einer mit kurzem; der mit einer Schleuder geworfene Stein geht weiter, als der mit der Hand geworfene. — Wird eine Kugel um eine bestimmte Axe gedreht, so vollenden zwar alle Punkte ihren vollen Umlauf in derselben Zeit, aber nur diejenigen haben eine gleiche Geschwindigkeit, welche gleich weit von der Drehungsaxe entfernt liegen, denn nur von solchen beschreiben die Perpendikel gleiche Kreise. Da die Geschwindigkeit von den Polen nach dem Äquator zunimmt, so ist dies auch mit der Schwungkraft der Fall; die Schwere wirkt nun bei der Erde der Schwungkraft rechtwinklig entgegen, also kann jene nicht überall mit gleicher Stärke hervortreten: unter dem Äquator am wenigsten, an den Polen am meisten. — Wenn ein Körper von bedeutenden Höhen in Thürmen, tiefen Schachten (Freiberg) fällt, so geschieht dies nicht genau nach dem Mittelpunkte der Erde, sondern die Falllinie weicht nach Osten ab, da der fallende Körper immer zu Punkten mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit gelangt. Direkter Beweis für die Axendrehung der Erde von Westen nach Osten, die sich schon aus der Abplattung herleiten läßt, so wie diese einen Schluß gestattet auf die frühere Beschaffenheit der Erde. Eine weiche Thonkugel muß bei rascher Drehung um eine bestimmte Axe eine abgeplattete Gestalt annehmen. Vorrichtung, um mittelst nachgebender ringförmiger Metallstreifen die Abplattung zu zeigen. — Steht die Axe eines tanzenden Kreisels auf einer horizontalen Ebene senkrecht, so bleibt sie wie lange in dieser Lage und wie lange fällt er nicht um, wenn sie auch eine schiefe Lage hat? — Ein an einem Faden ab (Fig. 47.) senkrecht hängender Ring bced kommt bei einer durch die Schwungmaschine bewirkten schnellen Drehung des Fadens und Ringes in eine horizontale Lage und der verlängerte Faden $\alpha\beta$, die Axe, geht auch hier durch seinen Mittelpunkt, indem die von der Axe entferntesten Punkte in dem Durchmesser cd die größte Rotationsgeschwindigkeit, also auch die größte Zentrifugalkraft besitzen und bei ihrem Entfernen von der Axe, die anderen mit ihnen verbundenen Punkte mit sich fortreißen. — Entstehung der Ringe des Saturn und Nothwendigkeit ihrer gegenwärtigen Lage.

E. Es wirke eine Kraft veränderlich und kontinuirlich: die Pendelbewegung.

Wenn ein Körper, welcher in einem Punkte o (Fig. 48.) aufgehängt ist, aus der Lage, in welcher sein Schwerpunkt p senkrecht unter dem Auf-

hängepunkte o sich befindet (stabiles Gleichgewicht), in eine andere ob gebracht wird, so treibt ihn die Schwere abwärts, aber senkrecht zu fallen hindert ihn die spannende Kraft von ob; er muß also einen Zwischenweg einschlagen, der gegen die Horizontale ht geneigt ist. Diese Neigung wird fortwährend kleiner, weil ihn ob fortwährend von der graden Richtung abzieht und in einem Kreisbogen zu gehen zwingt, der als eine Zusammensetzung von unendlich kleinen schiefen Ebenen anzusehen ist, deren Neigung gegen den Horizont mehr und mehr kleiner wird, während der Winkel der spannenden Kraft und der Richtung der Schwere sich vergrößert.

Die Schwerkraft des Punktes b oder seine absolute Kraft a läßt sich hier auflösen in eine in der Richtung des Pendels wirkende, die spannende s, was bei der schiefen Ebene die drückende ist, und in eine auf dieser senkrechte, also längs der Tangente wirkende, die respektive Kraft r. Demnach ist

1) $\frac{r}{a} = \sin e$ und

2) $\frac{s}{a} = \cos e$.

Für $e = 0°$ ist $r = o$ und $s = a$, d. h. für die senkrechte Lage des Pendels ist die respektive Kraft verschwunden und dasselbe wird gespannt durch die absolute;

für $e = 90°$ ist $r = a$ und $s = o$, d. h. für die horizontale Lage ist die spannende Kraft verschwunden und es fällt mit der absoluten. Mit wachsendem Winkel wächst die respektive Kraft (von o bis a) und die absolute nimmt ab (von s bis o).

Da die respektive Kraft bei der Bewegung des Punktes bis p fortwährend bewegend wirkt, so ist die Bewegung eine beschleunigte, da sie aber bis p fortwährend abnimmt, so ist sie eine ungleichförmig beschleunigte. In p angelangt, muß der Punkt nach dem Beharrungsgesetze sich weiter fort bewegen und zwar, weil die respektive Kraft fortwährend zunimmt und der Winkel, unter welchem die spannende und absolute wirken, sich verkleinert, mit ungleichförmig verzögerter Geschwindigkeit. Weil die durch das Fallen auf dem Wege von b bis p in p erlangte Geschwindigkeit in demselben Maße durch Verzögerung abnimmt, in welchem sie bis p zugenommen hatte, muß der Bogen pc = pb sein.

Die um einen ihrer festen Endpunkte bewegliche schwerlose grade Linie, deren zweiter Endpunkt als ein schwerer angesehen wird, heißt ein Pendel, die grade Linie selbst die Länge des Pendels, der Winkel pob = e, um welchen die Linie aus der Gleichgewichtslage erhoben wird, der Erhebungswinkel (Elevation), das Doppelte davon, boc = 2e, der Ausschlagswinkel, die einmalige Bewegung in dem ganzen Bogen bpc heißt eine einfache Schwingung (Oszillation), die zu einer Schwingung verwendete Zeit heißt Schwingungsdauer oder Schwingungszeit und die Anzahl der von einem gewissen Pendel in einer gewissen Zeit vollendete Anzahl von Schwingungen die Schwingungszahl desselben.

In Betreff des Pendels sind folgende Fragen wichtig:

1) welchen Einfluß hat die Pendellänge?
2) welchen die Größe des Erhebungswinkels?

3) welchen die Qualität und Quantität des als Pendel angewendeten physischen Körpers? und endlich

4) welchen die Intensität der Erdschwere auf die Erscheinungen und die Gesetze?

Zu 1. Wenn (Fig. 49.) oc = L, od = l die Längen zweier Pendel sind und beide um den Winkel e erhoben werden, so verhalten sich die durchlaufenen Bogen cp = B und dq = b wie die Pendellängen oder B : b = L : l. Denkt man sich nun B und b in gleich viele, außerordentlich kleine Theile zerlegt, so können diese, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, als grade Linien angesehen werden und die zu demselben Zentriwinkel gehörigen Theile haben zu der Horizontalen gleiche Neigungswinkel. Wegen der Gleichheit der Neigung der gleichvielten Bogentheilchen von B und b ist auch die beschleunigende Kraft auf ihnen gleich groß, also für beide Bogen in einem bestimmten Radius immer derselbe Antheil der absoluten Schwere. Werden nun die verschiedenen Wege B und b mit derselben beschleunigenden Kraft durchlaufen, so ergiebt sich aus der Formel für die Fallzeit auf der schiefen Ebene, $n = \sqrt{\frac{2R}{a \cos \alpha}}$, daß sich die Fallzeiten wie die Quadratwurzeln aus den Fallraümen verhalten. Die Fallzeiten sind hier die Schwingungszeiten oder Schwingungsdauern (D für B, d für b), die Fallraüme sind die durchlaufenen Bogen, also steht:

$$D : d = \sqrt{B} : \sqrt{b} = \sqrt{L} : \sqrt{l}, \text{ d. h.}$$

die Schwingungszeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen. Da mit zunehmender Anzahl der Schwingungen eines Pendels die Dauer jeder einzelnen Schwingung in demselben Verhältnisse abnimmt oder die Schwingungszahlen (S bei der Dauer d, s bei der Dauer D) zweier Pendel sich wie umgekehrt die Schwingungszeiten, d. i. D : d = s : S verhalten, so steht auch

$$s : S = \sqrt{L} : \sqrt{l} \text{ oder } s^2 : S^2 = L : l, \text{ d. h.}$$

die Pendellängen verhalten sich wie umgekehrt die Quadrate der Schwingungszahlen.

Bei einer 4, 9, 16 ..... n^2 fachen Pendellänge ist die Schwingungsdauer das 2, 3, 4 ..... n fache von der bei der einfachen Pendellänge. — Weiß man von einem Pendel mit bestimmter Länge l die Schwingungszahl s für eine bestimmte Zeit, z. B. eine Stunde, und kennt man noch die Anzahl der Schwingungen S eines Sekundenpendels für dieselbe Zeit (nämlich 60 . 60 = 3600), so läßt sich die Länge L des Sekundenpendels aus $s^2 : S^2 = L : l$ leicht berechnen. Es ist für unsere Gegenden fast genau 38 rheinländische Zoll lang.

Zu 2. Nun wollen wir untersuchen, welchen Einfluß der Erhebungswinkel bei einem Pendel von bestimmter Länge hat. Wenn es bis b' (Fig. 48.) gehoben wird, so wirkt in dem Momente, in welchem b' zu fallen beginnt, als bewegende Kraft nur die respektive r' = a sin e (wobei a die absolute, b'op = e ist), wie bei einer schiefen Ebene; würde es nur um den Erhebungswinkel $\frac{e}{2}$ bis b gehoben, so würde die beschleunigende Kraft im Momente des Nierderganges $r = a \sin \frac{e}{2}$ sein. Ist aber e klein, so ist, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, $\sin e = 2 \sin \frac{e}{2}$, also $r' = a . 2 \sin \frac{e}{2}$ und r' = 2r; d. h. in b' ist die Beschleunigung doppelt so groß, als in b und das Pendel wird in derselben Zeit von b' aus einen doppelt so

großen Bogen zurücklegen, als von b aus. Wenn man sich die Bogen b'p und bp in gleich viele und für jeden der beiden Fälle gleiche Theile zerlegt denkt, so werden zwei Pendel, von b' und b aus, in demselben Momente losgelassen, in gleichen Zeiten auch eine gleiche Anzahl von Bogentheilchen zurücklegen, also zugleich in dem Punkte p anlangen, indem für jedes beliebige Verhältniß kleiner Ausschlagswinkel die beschleunigende Kraft stets der Entfernung von der Gleichgewichtslage proportional ist. Daher ist die Dauer kleiner Schwingungen eines bestimmten Pendels von dem Erhebungswinkel unabhängig, oder: kleine Schwingungen sind von gleicher Dauer (isochron).

Bei der Bestätigung dieses Gesetzes durch Versuche berücksichtigt man nicht die Zeitdauer blos einer Schwingung, sondern man beobachtet mehre Hunderte von Schwingungen, die endlich so klein werden, daß man sie durch Vergrößerungsgläser zu beobachten genöthigt ist. — Das Pendel dient nach dem obigen Gesetze zur Eintheilung oder Messung der Zeit.

Zu 3. Ferner ist zu untersuchen, ob das Gewicht des als Pendel angewendeten physischen Körpers oder ob die Natur seiner Materie auf die Erscheinung einen Einfluß hat. Die Schwere ist der Grund für die Oszillationen des Pendels; diese wirkt aber gleichmäßig auf jedes Atom eines Körpers bewegend, so daß es für die Geschwindigkeit der Oszillationen ganz gleichgiltig ist, aus wie vielen Atomen der Pendelkörper besteht, ob er also ein größeres oder geringeres Gewicht besitzt. Aber auch die Beschaffenheit der Materie ist, wie die sorgfältigsten Versuche mit gleichgeformten Pendeln von den verschiedenartigsten Körpern zeigen, auf die obigen Gesetze ohne allen Einfluß, worin offenbar die Behauptung liegt, daß die Schwere auf alle Körper ganz gleichmäßig wirkt, oder daß sie alle mit gleicher Geschwindigkeit zur Erde treibt.

Zu 4. Entfernt man sich von dem Mittelpunkte der Erde, so nimmt zwar die Intensität der bewegenden Kraft ab, aber kleine Schwingungen desselben Pendels bleiben isochron und die Schwingungszeiten verschieden langer Pendel verhalten sich wie die Quadratwurzeln ihrer Längen. Es entsteht also nur noch die Frage nach der absoluten Dauer der einzelnen Oszillationen. — Wenn l die Pendellänge, a die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers nach der ersten Sekunde (Intensität der Schwere), π die ludolphsche Zahl 3,1415926 und d die Anzahl der Sekunden des Fallens oder die Schwingungsdauer bedeuten, so entwickelt die höhere Mathematik, daß $d = \pi \sqrt{\frac{l}{a}}$ ist, woraus $a = \frac{\pi^2 l}{d^2}$, d. i. die Intensität der Erdschwere oder der Fallraum $\frac{a}{2}$ in einer Sek. mittelst der Pendellänge und Schwingungsdauer berechnet werden kann.

Ist z. B. $d = 1$, l die Länge des Sekundenpendels zu Paris $= 993{,}866^{mm} = 3{,}0596$ p. F. $= 38$ rhl. Zoll, so ist daselbst die beschleunigende Kraft der Schwere $9{,}8088^{mm} = 31{,}196$ Fuß.

Wenn nun für zwei verschiedene Orte der Erde die Intensitäten der Schwere A und a, die Länge der Pendel L und l, die Dauer der Schwingungen D und d wären, so würde allgemein stehen:

$D : d = \pi \sqrt{\frac{L}{A}} : \pi \sqrt{\frac{l}{a}}$, woraus, wenn $A = a$ wäre, wie oben

$D : d = \sqrt{L} : \sqrt{l}$ folgte; wenn aber $L = l$ angenommen wird, so ist

$D : d = \sqrt{a} : \sqrt{A}$ oder $D^2 : d^2 = a : A$ und weil $D : d = s : S$ ist auch

$s^2 : S^2 = a : A$. woraus sich mittelst eines Pendels von bestimmter Länge **das Verhältniß der Schwere an verschiedenen Orten der Erde bestimmen läßt.**

Auf diese Weise hat man gefunden, daß die Schwere unter dem Äquator am geringsten ist und nach den Polen zu größer wird, woraus sich nicht nur die sphäroidische Gestalt der Erde im allgemeinen, sondern sogar die Größe ihrer Abplattung genau berechnen läßt. — Das Sekundenpendel von Paris z. B. macht unter dem Äquator 126 Schwingungen in einem Tage weniger, es muß also dort verkürzt, gegen die Pole hin aber verlängert werden, um noch ein Sekundenpendel zu sein. — Durch das Pendel läßt sich sogar der Einfluß großer anziehender Massen, wie Felsen und Berge, nachweisen und von ihrer Masse ein Schluß auf die der Erde machen.

Das physische Pendel: 1) Reversionspendel. Zu allen obigen Versuchen bedarf man eines **physischen Pendels**, bei welchem die schwerlose Linie durch einen Faden oder Stab und der schwere Punkt durch eine Kugel oder einen linsenförmigen Körper ersetzt ist. Die Erscheinungen am physischen Pendel werden denen am mathematischen um so mehr entsprechen, je leichter der Faden oder Stab und je schwerer bei gewisser Ausdehnung der angehängte Körper ist (ein Aloefaden mit Platinkugel). Die dem Aufhängepunkte näheren Theile des phys. Pendels haben das Bestreben schnellere Schwingungen zu machen, als die entfernteren; jene werden durch diese in ihrer Bewegung verzögert, diese durch jene beschleunigt; es muß demnach in einem solchen Pendel einen Punkt, den **Schwingungspunkt**, geben, welcher durch die übrige Masse des Pendels weder beschleunigt, noch verzögert wird und von dem Aufhängepunkte genau so weit entfernt ist, als die Länge des einfachen Pendels mit derselben Schwingungszeit.

Es kommt nun darauf an bei einem physischen Pendel die Lage dieses Schwingungspunktes oder die Länge des (einfachen) mathematischen Pendels namentlich für eine gewisse Zeitdauer der Schwingungen, z. B. eine Sekunde, also die Länge des Sekundenpendels genau zu bestimmen. Nimmt man eine möglichst genau gearbeitete Metallstange, welche an zwei gegen die beiden Enden liegenden Stellen in eine Schneide von Stahl ausgehende Axen und dazwischen zwei verschiebbare Gewichte besitzt, so kann man es durch Versuche dahin bringen, daß jede Schneide der Schwingungspunkt des Pendels wird, wenn es um die andere schwingt und daß dabei die Schwingungsdauer dieselbe bleibt. Die Entfernung der beiden Schneiden, welche genau in der Axe der Stange liegen, einander zugekehrt sein müssen, und während der Schwingungen auf Platten von Agat ruhen, ist die wahre Länge des einfachen Pendels von gleicher Schwingungsdauer. Diese Vorrichtung heißt das **Reversionspendel.**

Man kann die Länge des mit dem zusammen gesetzten isochron schwingenden mathematischen Pendels dadurch ziemlich genau finden, daß man neben dem zusammen gesetzten ein einfaches aus einem möglichst leichtem Faden mit einem möglichst schweren kleinen Körper aufhängt und dies so lange verlängert oder verkürzt, bis beide gleichzeitig schwingen. Die Länge des einfachen Pendels giebt dann die Entfernung des Drehungspunktes von dem Schwingungspunkte.

2) **Kompensationspendel.** Da an einem bestimmten Orte der Erdoberfläche die Intensität der Schwere unveränderlich ist, so müssen die

Schwingungen eines bestimmten Pendels genau gleichzeitige sein, so daß sie zur Eintheilung bestimmter Zeiträume verwendet werden können. Damit aber ein physisches Pendel dieser Bedingung entspreche, muß der seine Länge ändernde Einfluß der Temperatur aufgehoben werden. Dies ist nur dadurch möglich, daß es aus ungleich sich ausdehnenden Körpern (Zink : Messing = 18 : 7; Messing : Stahl = 2 : 1) zusammen gesetzt werde, indem dann seine Verlängerung bei der Ausdehnung des einen durch die Verkürzung bei der Ausdehnung des anderen nach der entgegen gesetzten Richtung aufgehoben oder kompensirt wird: Kompensationspendel (Fig. 50).

In den Pendeluhren muß die durch Gewichte oder Metallfedern hervorgebrachte beschleunigende Kraft durch eine sogenannte Hemmung — Echappement — regulirt werden.

Es ist höchst merkwürdig, daß die Schwingungsebene eines Pendels fortwährend eine Drehung erleidet, die um so eher sichtbar ist, je länger das Pendel ist und zwar so, daß, wenn der Beobachter am Ausgangspunkte des Pendels in der Schwingungsebene sich befindet, dasselbe von dem jedesmaligen Ausgangspunkte mehr und mehr nach links geht, also die Horizontalprojektion der Schwingungsebene eine Bewegung in dem Sinne der scheinbaren Bewegung des Fixsternhimmels macht. Es ist dabei nicht gleich, ob das Pendel in der Ebene des Meridians oder darauf senkrecht zu schwingen beginnt; im ersten Falle geschieht (zu Paris) eine 25° betragende Ablenkung der Schwingungsebene in 2,376 Stunden, im zweiten schon in 2,101 Stunden. Beginnen die Pendelschwingungen in einer auf dem Meridiane senkrechten Richtung, so zeigt sich außer der allgemeinen Ursache für die Ablenkung der Schwingungsebene des Pendels noch eine störende Kraft darin wirksam, daß es nicht in einer Ebene schwingt, sondern in einer schwachen Ellipse. Auf den Polen würde sich die Vertikale eines vollkommen frei hängenden Pendels nur um sich selbst und zwar täglich einmal drehen; mit abnehmenden Breiten beschreibt sie aber einen stets offneren Kegel, wodurch sich die scheinbare Bewegung der Schwingungsebene verzögert, bis sie unter dem Äquator Null ist, um in der anderen Halbkugel eine entgegen gesetzte Richtung anzunehmen. — Diese Erscheinung ist eine nothwendige Folge der Axendrehung der Erde, also für die Existenz derselben ein neuer Beweis. Die schnellere Ablenkung der auf dem Meridiane senkrechten Schwingungsebene hat wohl ihren Grund in der Richtung der Schwungkraft zu der der Pendelschwingungen.

Die anderen Fälle, in denen zwei oder mehre Kräfte wirken, welche veränderlich sind und in verschiedenen Richtungen kontinuirlich wirken, lassen sich keiner elementaren Betrachtung unterwerfen. Sie kommen in der Astronomie vor.

III. Hindernisse der Bewegung.

1) Der Stoß.

Das Zusammentreffen zweier Körper, von denen wenigstens der eine sich bewegt, heißt Stoß. Der Stoß ist also die Äußerung einer momentanen Kraft. Er kann zwischen Körpern aller Aggregatszustände stattfinden, so daß sechs Fälle möglich sind (aa, ab, ac, bb, bc, cc).

Die Erscheinungen beim Stoße zweier festen Körper sind nun theils nach der Beschaffenheit dieser Körper, theils nach der Richtung der Be-

wegung verschieden: dabei können die zusammen treffenden Körper einen sehr geringen oder sehr hohen Grad von Elastizität besitzen, ihre Massen und Geschwindigkeiten können gleich oder verschieden sein.

Jeder bestimmte harte feste Körper hat einen seiner Lage nach unveränderlichen Schwerpunkt. Geht nun die Richtung des stoßenden und gestoßenen Körpers durch den Schwerpunkt, so heißt der Stoß ein zentraler (bei gleichmäßigen Kugeln durch die Mittelpunkte), wenn nicht, ein exzentrischer; wenn die Richtung der Bewegung auf den getroffenen Flächen oder den durch die Treffungspunkte gelegten tangirenden Ebenen senkrecht steht, so heißt er ein grader, wenn nicht, ein schiefer. Daraus lassen sich vier einzelne Fälle kombiniren. Wir betrachten den graden zentralen Stoß.

Die Wirkung des graden Stoßes S hängt in gradem Verhältnisse von der Masse M und Geschwindigkeit G des stoßenden Körpers ab, es ist also $S = MG$ und $G = \frac{S}{M}$, die des schiefen Stoßes außerdem von dem Neigungswinkel, welchen die Richtung des Stoßes mit der Ebene des Treffungspunktes bildet.

A. Haben zwei feste Körper z. B. Kugeln ein Minimum von Elastizität, bewegt sich die Masse M mit der Geschwindigkeit G hinter der Masse m, welche die Geschwindigkeit g besitzt (wobei $G > g$) und es sei x die gemeinschaftliche Geschwindigkeit der Massen nach dem Stoße ($x < G$, $x > g$); so wird

M von G verlieren $G - x$ und nach dem Stoße $G - (G - x)$,
m zu g gewinnen $x - g$ " " " " $g + (x - g)$ haben.

Für das Gleichgewicht nach dem Stoße muß $M(G - x) = m(x - g)$ sein, woraus sich die gemeinschaftliche Geschwindigkeit $x = \frac{MG + mg}{M + m}$ ergiebt.

Bewegt sich der eine Körper gegen den anderen, so ist g negativ und der Ausdruck wird $\frac{MG - mg}{M + m}$. Aus dem allgemeinen Gesetze $\frac{MG \pm mg}{M + m}$ für den graden zentralen Stoß harter unelastischer Körper folgen nun leicht die besonderen Fälle.

1) Körper, welche sich in grader Richtung gegen einander ($+ G$, $- g$) bewegen, setzen einander ins Gleichgewicht oder kommen zur Ruhe, wenn die Quantitäten ihrer Bewegungen gleich sind: $MG = mg$; also

a) wenn sie gleiche Massen und Geschwindigkeiten haben,

b) wenn sich die Massen wie umgekehrt die Geschwindigkeiten verhalten ($M : m = g : G$).

2) Sind die Quantitäten der Bewegung ungleich, so bewegen sich beide Körper nach dem Stoße mit gleicher Geschwindigkeit in der Richtung der Bewegung des Körpers mit der größeren Quantität und zwar

a) bei gleichen Massen und verschiedenen Geschwindigkeiten mit der halben Differenz der Geschwindigkeiten beider, $\frac{G - g}{2}$;

b) bei gleichen Geschwindigkeiten und ungleichen Massen ist die neue Geschwindigkeit der sovielte Theil von der gemeinschaftlichen, als es die Differenz der Massen, getheilt durch ihre Summe anzeigt, $\frac{M - m}{M + m} G$;

c) bei ungleichen Massen und ungleichen Geschwindigkeiten ist die neue Geschwindigkeit der sovielte Theil der Differenz beider Quantitäten, als es die Summe der Massen anzeigt, $\frac{MG - mg}{M + m}$.

3) Bewegt sich ein Körper gegen einen zweiten ruhenden

a) von ungleicher Masse, so bewegen sich beide nach dem Stoße mit der halben Geschwindigkeit des stoßenden ($\frac{G}{2}$, weil $g = o$ und $M = m$ ist);

b) ist die Masse beider ungleich, so ist die gemeinschaftliche Geschwindigkeit der sovielte Theil von der Geschwindigkeit des ankommenden, der wievielte Theil die Summe der Masse von seiner Masse ist ($\frac{M}{M + m} \cdot G$).

4) Bewegt sich ein Körper senkrecht gegen eine ruhende feste Wand, so kommt er selbst in Ruhe ($\frac{MG - mg}{M + m}$ wird o, weil $g = o$ und $m = \infty$ ist).

Ist der Stoß schief, z. B. in der Richtung dc (Fig. 51.) auf die feste Ebene ab und ist cf das Maß der Geschwindigkeit und die Richtung, so läßt sich diese Kraft in die auf ab senkrecht und daher unwirksame Seitenkraft cg und die mit ab in derselben Richtung liegende ce auflösen; also bewegt sich der Körper nach dem Stoße an der Ebene in ihrer Richtung fort.

5) Folgt ein Körper auf einen anderen in derselben Richtung sich mit einer geringeren Geschwindigkeit bewegenden und trifft ihn in einem graden zentralen Stoße, so theilt er ihm von seiner Geschwindigkeit mit, so daß beide mit einer gleichen Geschwindigkeit, dargestellt durch $\frac{MG + mg}{M + m}$, in der gemeinschaftlichen Richtung fortgehen; diese Geschwindigkeit ist, wenn die Massen beider gleich sind, die halbe Summe der Geschwindigkeiten beider, $\frac{G + g}{2}$.

Folgt z. B. auf eine Kugel von 7 Pfd. und 2 Fuß Geschwindigkeit eine andere von 3 Pfd. und 12 F. Geschw. ($7 . 2 + 3 . 12 = 50$), so haben sie nach dem Stoße eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit von 5 Fuß, da sich die Massen wie 7 : 3 verhalten, so muß jene 7' an Geschwindigkeit verlieren, diese 3' gewinnen. — In jedem der angeführten Fälle gilt das Gesetz, daß die Summe der Bewegungen, wenn ein Körper einem anderen folgt, vor und nach dem Stoße dieselbe ist.

B. Wenn die Kugeln als vollkommen elastische anzusehen sind, so kommt nicht blos die von der Masse und Geschwindigkeit abhängige Wirkung, sondern auch die Rückwirkung der Elastizität in Betracht, indem jeder Körper, nachdem die Wirkung des Stoßes zur Geltung gekommen ist, seine Gestalt mit derselben Kraft wieder herzustellen sucht, mit welcher er zusammen gedrückt wurde und auf diese Weise den anderen Körper mit einer der Wirkung des Stoßes gleichen Kraft forttreibt. Hat also ein Körper bei der Wirkung des Stoßes an seiner Geschwindigkeit verloren, so wiederholt sich derselbe Verlust; hat er gewonnen, so verdoppelt sich der Gewinn. — Bewegt sich M mit G hinter m mit g und ist x die gemeinschaftliche Geschwindigkeit, welche die Massen durch den bloßen Stoß erlangt hätten; so hat

M an seiner Geschw. $G = x + (G - x)$ verloren: $G - x$

m " " " $g = x - (x - g)$ gewonnen: $x - g$, folglich muß mit Berücksichtigung der Elastizität

M von x noch einmal $G - x$ verlieren und hat $x - (G - x) = 2x - G$ und

m von x noch einmal x — g gewinnen und hat $x + (x - g) = 2x - g$; also hat

M die Geschwindigkeit $2 . \frac{MG + mg}{M + m} - G = \frac{2mg + (M - m) G}{M + m}$ und

m „ „ $2 . \frac{MG + mg}{M + m} - g = \frac{2MG + (m - M) g}{M + m}$.

Hat m eine dem M entgegen gesetzte Richtung oder ist g negativ, so gelten die Ausdrücke:

$\frac{(M - m) G - 2mg}{M + m}$ und $\frac{(M - m) g + 2MG}{M + m}$. Daraus lassen sich alle besonderen Fälle ableiten.

1) Stoßen Kugeln mit gleicher Masse und gleicher Geschwindigkeit gegen einander, so springen sie mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher sie einander beim Stoße trafen, jede rückwärts von der andern ab

2) Sind die Massen gleich, die Geschwindigkeiten ungleich, so springen sie mit vertauschter Geschwindigkeit, jede rückwärts.

Kommt z. B. der ersten von 11 Fuß Geschwindigkeit eine zweite mit 5′ Geschw. entgegen (also — 5′), so ist die Wirkung des Stoßes + 3 für beide, so daß die erste 8′ Geschw. verloren (— 8′ bekommen) und die andere 8′ bekommen hat. Dieser Gewinn und Verlust wiederholt sich durch die Elastizität, also kommt die erste auf — 5′, die andere auf + 11′ Geschw. Nämlich:

+ 11	— 5
— 8	+ 8
+ 3	+ 3
— 8	+ 8
— 5	+ 11, d. h.?

3) Trifft eine Kugel von 5 Loth mit 4′ Geschw. eine ihr entgegen kommende von 3 Loth und 4′ Geschw.; so würde die Wirkung des Stoßes + 1′ Geschw. in der Richtung der ersteren sein. Die Rechnung ist nun folgende:

5 (+ 4)	3 (— 4)
— 3	+ 5
+ 1	+ 1
— 3	+ 5
— 2	+ 6

4) Trifft eine Kugel von 9 Loth mit 5′ Geschw. eine ihr entgegen kommende von 3 Loth mit 7′ Geschw.; so würde ohne Elastizität der Erfolg nach dem Stoße $\frac{9 . 5' - 3 . 7'}{12} = 2'$ Geschw. in der Richtung der ersteren sein. Die Rechnung stellt sich so:

9 (+ 5)	3 (— 7)
— 3	+ 9
+ 2	+ 2
— 3	+ 9
— 1	+ 11

5) Wenn die eine Kugel ruht und die Massen gleich sind. Trifft eine 8 Loth schwere Kugel mit 10′ Geschwindigkeit auf eine eben so große ruhende, so steht:

+ 10	0
— 5	+ 5
+ 5	+ 5
— 5	+ 5
0	+ 10 d. h.?

6) Wenn die eine ruht und die Massen ungleich sind. Trifft eine 8 Loth schwere Kugel mit 5′ Geschwindigkeit auf eine ruhende von 2 Loth, so steht

8 (+ 5)	2 (0)	oder	2 (+ 5)	8 (0)
— 1	+ 4		— 4	+ 1
+ 4	+ 4		+ 1	+ 1
— 3	+ 4		— 4	+ 1
+ 3	+ 8		— 3	+ 2 d. h.?

7) Holt eine Kugel eine andere gleich große ein, so gehen sie nach dem Stoße in derselben Richtung mit vertauschter Geschwindigkeit fort. Zum Beispiel:

+ 11	+ 5
— 3	+ 3
+ 8	+ 8
— 3	+ 3
+ 5	+ 11

8) Holt eine Kugel von 2 Loth mit 8′ Geschwindigkeit eine andere von 4 Loth mit 2′ Geschwindigkeit ein, so ist der Erfolg, wenn sie unelastisch sind, nach dem Stoße 4′ Geschwindigkeit in der gemeinschaftlichen Richtung; aber für elastische steht

2 (+ 8)	4 (+ 2)	oder	4 (+ 8)	2 (+ 2)
— 4	+ 2		— 2	+ 4
+ 4	+ 4		+ 6	+ 6
— 4	+ 2		— 2	+ 4
0	+ 6 d. h.?		+ 4	+ 10 d. h.?

9) Trifft eine Kugel eine feste unbewegliche Wand senkrecht oder schief, so springt sie auch unter demselben Winkel mit derselben Geschwindigkeit zurück; im ersten Falle auf demselben Wege, im letztern nach der entgegen gesetzten Seite. Es wird nämlich im Augenblicke des Zusammentreffens von den beiden Seitenkräften die senkrechte cg (Fig. 51.) zwar aufgehoben, aber durch die Elastizität sofort in die entgegen gesetzt wirkende und gleiche ck verwandelt. Setzt man nun ck mit ce zusammen, so ergiebt sich ch als Richtung und Weg des zurückgeworfenen Körpers. — Einfallsloth, Einfallswinkel, Zurückwerfungswinkel.

10) Trifft eine Kugel eine andere ruhende schief, so geht nach dem Stoße letztere in der Richtung fort, welche durch die Verbindungslinie des Treffungspunktes mit dem Mittelpunkte angegeben wird, und beide springen unter einem rechten Winkel auseinander.

11) Wird eine auf einer Ebene ruhende Kugel exzentrisch gestoßen, so erfolgt eine Rotation in der Richtung, welche der Verbindungslinie des Treffungspunktes mit dem Mittelpunkte entspricht.

Wird daher eine auf einer Ebene ruhende Kugel oberhalb des Mittelpunktes vorwärts gestoßen, so rollt sie um so mehr vorwärts, je höher sie gestoßen wird; wird sie aber unterhalb gestoßen, so kann die Wirkung des Stoßes durch die gleichzeitig erlangte Rotation ganz oder theilweise aufgehoben oder auch übertroffen werden, so daß sie nach einer gewissen Zeit nicht nur stehen bleibt, sondern sogar rückwärts geht. Letzteres geschieht auch, wenn man ihr seitwärts vom Mittelpunkte einen senkrecht auf die Ebene herab gerichteten Schlag, etwa mit der Kante der Hand giebt.

12) Ist eine Reihe von gleich großen elastischen Kugeln a, b, c, d, e so aufgehängt, daß ihre Mittelpunkte in derselben Richtung liegen, so wird, wenn durch a ein grader zentraler Stoß ausgeübt wird, die letzte; wenn durch a und b, so werden die beiden letzten d und e u. s. f. abspringen. Wäre a so groß als d und e zusammen, so würden diese beiden beim Stoße durch jene abspringen u. s. w. Die Quantität der Bewegung bleibt stets ungeändert. Es findet hier eine Reihenfolge von Stößen statt.

Wenn Haüser an gepflasterten Straßen durch das Fahren von schweren Wagen erschüttert werden, so ist dies eine Folge von fortgepflanzten Stößen. — Wenn man ein Gipspfeifenrohr senkrecht auf die Diele fallen läßt nachdem man gegen das obere Ende einen kreisförmigen Einschnitt gemacht hat, so springt beim Aufschlagen der obere Theil ab und in die Höhe. — Aufspringen von Spielkarten.

Wenn der Stoß auf eine Reihe harter und wenig elastischer Körper ausgeübt wird, so vermindert sich, je weiter sie von der unmittelbar gestoßenen Stelle entfernt sind, nach und nach ihre Geschwindigkeit. Daher kann ein Stein gesprengt werden, wenn man in ein gebohrtes Loch Pulver, darauf losen oder nur etwas fest gedrückten feinen Sand schüttet und ersteres anzündet. Sprengen der Schießgewehre, wenn in die Mündung Boden oder Sand gekommen ist.

C. Das ballistische Pendel. Kräfte, welche Körper in Bewegung setzen, wirken unmittelbar meist nur auf einen kleinen Theil der Materie, aus welcher der Körper besteht, wie z. B. wenn ein bewegter Körper einen anderen bewegten oder auch ruhenden trifft. Dessen ungeachtet werden nicht blos die getroffenen Theile, sondern alle oder der ganze Körper in Bewegung gesetzt, indem sich die Bewegung nach und nach in einer, wenn auch kurzen Zeit, gleichmäßig auf alle Theile verbreitet, damit keiner zurückbleibe oder voraneile. Der getroffene Körper nimmt gleichsam die Kraft in sich auf, welche auf ihn wirkt, und vertheilt die Wirkung auf seine ganze Masse. Ist nun diese im Vergleich zum stoßenden Körper sehr groß, so kann die dem Ganzen zukommende Geschwindigkeit nur sehr klein sein, ja muß für die Wahrnehmung ganz verschwinden, wenn die Masse ein mit dem Erdkörper zusammen hängender Theil ist.

Diese Betrachtung ist angewendet worden, um die Geschwindigkeit der Geschosse zu bestimmen. Trifft eine abgeschossene Kugel eine bedeutende an einer Pendelstange leicht bewegliche, unterhalb mit einer feinen Spitze versehene Masse und hat man mit Hilfe des genau gemessenen Ausschlages ihre Geschwindigkeit berechnet; so läßt sich, weil die Quantitäten der Bewegung stets gleich sind, die Geschwindigkeit jener Kugel für den Moment berechnen, in welchem sie das ballistische Pendel trifft.

2) Die Reibung.

Bei der Bewegung der Körper kann man entweder blos diese im Auge behalten und von allen übrigen dabei möglichen Umständen absehen, und nur dann gelten die früher entwickelten Gesetze in ihrer ganzen Strenge

oder man kann darauf Rücksicht nehmen, daß sich die Körper an und in anderen bewegen und dadurch in ihrer Bewegung gehindert werden. Bewegt sich ein Körper an einem anderen hin, so würde dies auf die Bewegung dann von gar keinem Einflusse sein, wenn die Körper absolut hart und glatt wären; man könnte z. B. auf einer horizontalen Ebene die größte Last mit der kleinsten Kraft in Bewegung setzen und diese Bewegung würde nach einem augenblicklichen Impulse ewig fortdauern. Es würden so alle Körper selbst auf einer horizontalen Ebene leicht in wilder Verwirrung sich durch einander bewegen lassen. Dies ist in der That nie der Fall, weil auch die glattesten Körper Erhabenheiten und Vertiefungen haben, von denen die ersteren bei der Bewegung entweder von dem Körper müssen abgerissen oder aus den Vertiefungen und über die Erhabenheiten des anderen Körpers, an und auf welchem die Bewegung stattfindet, gehoben werden; es geschehen bei der Bewegung fortwährend sehr schiefe und exzentrische Stöße. Dieses Hinderniß der Bewegung nennen wir Reibung. Um diese Reibung zu überwinden muß man eine Kraft anwenden, gleich als ob der Körper auf eine schiefe Ebene gezogen würde; die Zahl, welche angiebt, der wievielte Theil diese Kraft von der Last ist, heißt der Reibungskoeffizient, welcher bei bestimmten Körpern stets der Last proportional ist, und sich nach der Beschaffenheit der reibenden Flächen richtet. Nur durch Versuche läßt er sich bestimmen.

Um 100 Pfd. Eisen auf Eisen zu bewegen, ist eine Kraft, welche 27,7 Pfd. zu heben im Stande ist, nothwendig; der Reibungskoeffizient

für Eisen auf Eisen ist	0,277
" " Messing	0,263
" " Kupfer	0,170
Eichen " Eichen bei Kreuzung der Fasern	0,273
" " " nach der Länge	0,418
" " Kiefern	0,667
Kiefern " "	0,562
Eisenbahnen etwa	0,04
sehr gut gebahnte Wege	0,05
schlechtere Wege etwa	0,1

Wenn bei der Bewegung die Unterlage stets mit denselben Punkten des bewegten Körpers in Berührung kommt, so heißt die Reibung eine gleitende; treten aber immer neue Punkte des letzteren mit jener in Berührung, so ist sie eine wälzende, welche unter übrigens gleichen Umständen kleiner ist, als die gleitende, weil der Schwerpunkt des Körpers weniger gehoben wird. Auch durch Ausfüllung der Vertiefungen bei Metallen mit Öl, bei Holz mit Talg auch mit Wasser u. a. kann die Reibung vermindert werden, nur ist dann die Adhäsion nicht ohne Einfluß, wie sie überhaupt den Reibungswiderstand vergrößert.

Bei einem Wagenrade findet am Umfange des Rades walzende, an der Axe gleitende Reibnng statt; beide werden durch Vergrößerung der Räder vermindert. Das Zugvieh hat auf einer vollkommen horizontalen Straße nur die Reibung zu überwinden und da ein Lastwagen auf einem gut gebahnten Wege, welcher auf 36 Fuß Länge 1 Fuß Neigung hat, von selbst herabrollt, weil die gleitende Kraft die Reibung überwindet, so ist zu seiner Fortbewegung auf dem horizontalen Wege nur $\frac{1}{36}$ der Last erforderlich, so daß 3600 Pfd. Last mit 100 Pfd. Kraft in Bewegung zu setzen sind. Wollte man die Reibung auf Eisenbahnen $\frac{1}{10}$ von der auf Kunstwegen annehmen, so würde auf hori-

zontaler Bahn die Kraft nur $\frac{1}{360}$ von der Last sein und mit 100 Pfd. Kraft eine Last von 36000 Pfd. in Bewegung gesetzt werden können.

Je härter der Körper ist, desto weniger ist die Größe der Berührungsflächen bei der Reibung von Einfluß; auch die Geschwindigkeit verändert dieselbe nicht wesentlich; desto mehr aber die Rauhigkeit der Berührungsflächen. Bei Körpern aus derselben Materie ist sie größer, als bei verschiedenartigen. Stahl reibt sich am wenigsten auf Messing, mehr auf Blei, noch mehr auf Kupfer. Bei Metall wird sie durch Wärme, bei Holz durch seine Nässe vergrößert.

Die Reibung gewährt unstreitig mehr Vortheile als Nachtheile. Ohne sie würde man nicht gehen, fahren oder reiten, nichts mit den Händen oder einer Zange festhalten können; kein Nagel würde anziehen, kein Knoten würde binden; die Fäden der Gewebe würden aus einander gleiten; alle Gegenstände würden von schiefen Ebenen herabschieben oder rollen; jeder leiseste Luftzug selbst würde die Gegenstände auf der Ebene fortbewegen. — Man sucht die Reibung unter Umständen zu befördern: das Hemmen der Fuhrleute, das Bestreichen des Violinbogens mit Kolophonium, der Schuhsohlen mit Kreide, das Bestreuen des Glatteises mit Asche oder Sand; die Reibzündhölzer. — Die Reibung ist der Grund davon, daß man die Gegenstände, die pulverisirt oder in kleinen Körnern vorkommen, wie Mehl, Sand, Hirse, Korn, Weizen u. s. w. aufhaüfen kann, wobei jeder bestimmte Gegenstand seinen eigenen Winkel hat, über welchen hinaus die Anhaüfung nicht geschehen kann.

Auch bei Maschinen gewährt sie Vortheile, wenn auch andererseits wegen ihr der Erfolg hinter den theoretischen Resultaten zurück bleibt. Ohne sie würde man durch Riemen, Schnuren, Ketten u. drgl. die Bewegung nicht von einem Maschinentheile auf einen anderen fortpflanzen können: die Rollen, Flaschenzüge, Keile, Schrauben u. s. w. würden ihre Dienste versagen.

In allen Fällen, in denen sich Zapfen in ihren Lagern oder Pfannen drehen, findet eine gleitende Reibung statt, welche grade so wirkt, wie ein Gewicht, welches an einer um diese Axe geschlungenen Schnur hängt und auf diese Weise bei dem Erfolge der Maschine mit in Rechnung gebracht werden kann. Wenn z. B. bei einem Rade an der Welle der Durchmesser des Rades 8, der Welle 1 und des Zapfens $\frac{1}{6}$ ist, der Wellbaum selbst 80 Pfd., die angehängte Last 320 Pfd., die angewendete Kraft 40 Pfd. beträgt, so haben die Zapfenlager einen Gesammtdruck von $(80 + 320 + 40)$ Pfd $= 440$ Pfd. auszuhalten. Bewegt sich Eisen auf Eisen, so beträgt der Reibungskoeffizient 27,7 Prozent der Last. Man kann nun die Reibung sich wegdenken und statt ihrer um den Zapfen eine Schnur in derselben Richtung mit dem Seile der Welle, woran das Gewicht $440 . 0{,}277$ Pfd. $= 111{,}88$ Pfd. hängt, was dasselbe ist, als wenn man an dem Umfange der Welle die Last um $\frac{1}{6} . 111{,}88$ Pfd. $= 18{,}65$ Pfd. vermehrte. Es werden also in diesem Beispiele gegen 19 Pfd. Prozent der angewendeten Kraft zur Überwindung des Reibungswiderstandes aufgewendet. — Ähnliche Betrachtungen finden auch bei anderen Maschinen statt.

3) Widerstand des flüssigen Mittels.

Ein anderes Hinderniß der Bewegung liegt in dem Widerstande des flüssigen Mittels, in welchem die Bewegung stattfindet. Der bewegte Körper trennt fortwährend den Zusammenhang der Theile des Fluidums und verliert dabei wie bei einem Stoße um so mehr an seiner Geschwindigkeit, je inniger dieser Zusammenhang oder je dichter die Flüssigkeit ist. Außerdem wächst der Widerstand mit der Geschwindigkeit des bewegten Körpers (fast wie die Quadrate der Geschwindigkeit, indem er doppelt so vielen Theilen eine doppelte Geschwindigkeit u. s. w. ertheilen muß), mit Verminderung seiner Masse und Vergrößerung seiner in der Richtung der

Bewegung von dem Fluidum getroffenen Oberfläche und ist unter übrigens gleichen Umständen am größten, wenn die nach vorwärts gerichtete Fläche auf der Bewegungsrichtung senkrecht steht.

Bewegung im Wasser ist mit größerer Anstrengung verknüpft, als in der Luft; die Körper fallen im Wasser langsamer als in der Luft und in dieser noch langsamer (nach ihrer Form und Materie wieder verschieden schnell) als im luftleeren Raume, in welchem alle Körper gleich schnell fallen und auch stärker aufschlagen. — Wasserhammer. — Beim schnellen Fahren, namentlich auf Eisenbahnen ist der Widerstand der Luft größer, als beim Gehen — Der Widerstand der Luft und die Reibung am Aufhängepunkte bringen das physische Pendel allmählig zur Ruhe. — Von zwei gleich langen Pendeln schwingt das mit größerem Gewichte etwas schneller, wie auch der schwerere Körper unter übrigens gleichen Umständen schneller fällt, als der leichtere. — Der Widerstand der Luft ist von Nutzen beim Fliegen der Vögel, beim Fallen mit dem Fallschirme, bei den Windfängen der Schlaguhren, beim Aufsteigen der Raketen, beim Fallen des Regens und der Schlossen; er bewirkt, daß der Körper von der durch das Fallen erzeugten beschleunigten Geschwindigkeit mehr und mehr verliert, da mit zunehmender Geschwindigkeit der Widerstand wächst, bis er ohne Beschleunigung und in einem Mittel von zunehmender Dichte, wie der atmosphärischen Luft, sogar mit Verzögerung fällt Eine ähnliche Bewandniß hat es beim Steigen eines Körpers. Der Widerstand des Wassers bedingt das active Schwimmen und Rudern.

Eine Bleikugel fällt im Wasser schneller als eine Thonkugel von derselben Größe; eine lose Flaumfeder in der Luft langsamer, als ein Stückchen Papier von demselben Gewichte; die Spreu wird von dem Getraide beim Werfen beider abgesondert und geht, weil sie einen größeren Widerstand findet, nicht so weit fort, als die schweren Körner — Das Schlemmen pulverisirter Körper. — Es ist leichter mit der schmalen Seite der Hand als mit der flachen das Wasser zu zertheilen; man baut das Vordertheil, namentlich der schnell segelnden Schiffe spitz und kantig, um das Wasser leichter zu durchschneiden; Wirkung des Steuerruders; Hechte können schneller schwimmen als Welse; die Gestalt der Vögel erleichtert ihnen das Fliegen; Flug der Vögel in Scharen, namentlich schwerfälliger; Gestalt der Linse an den Perpendikeln der Pendeluhren; Form der Brückenpfeiler.

Endlich bildet bei Maschinen die Steifigkeit der Seile, Taue, Ketten (besonders mit etwas längeren Gliedern), welche um Walzen und Rollen gelegt werden, noch ein Hinderniß der Bewegung Die Kräfte können in Folge dessen nicht genau in der Richtung wirken und an den Orten angreifen, welche bei der Berechnung des Erfolges zum Grunde gelegt werden.

Wenn es bei den früher aufgestellten Gesetzen des Gleichgewichtes nur eines unbedeutenden einseitigen Überschusses an Kraft bedurfte, um Bewegung oder Störung des Gleichgewichtes zu bewirken, so ist mit Rücksicht auf die Hindernisse der Bewegung ein solcher Überschuß unzureichend und noch erforderlich, daß außerdem auch die verschiedenen Hindernisse überwältigt werden.

Nun ist noch die Erscheinung zu untersuchen, welche eintritt, wenn ein Körper bei seiner Bewegung aus einem dünneren Mittel in ein dichteres übergeht. Weil die Menge der materiellen Theile, welche der bewegte Körper zu verdrängen hat, größer wird und diese selbst an den benachbarten einen größeren Widerstand finden, so muß seine Geschwindigkeit, er mag senkrecht oder schief eindringen, vermindert werden. Ist (Fig. 52.) ab die Trennungsfläche und dringt der Körper mit der durch ce angedeuteten Geschwindigkeit senkrecht in das andere Mittel, so ist in diesem die Geschwindigkeit er < ce; dringt er schief mit der Geschwindigkeit co ein, so ist sie auflösbar in die senkrechte ce und die cd || ab. Wenn also on ‡ er und om = cd angenommen wird, so bringt der Körper nicht in der

Richtung os als der Verlängerung von co, sondern in der Richtung ox ein; die Richtung der Bewegung wird gebrochen. Je kleiner der Einfallswinkel cod, desto größer der Brechungswinkel nox, so daß die neue Richtung ox nicht nur mit ob parallel werden, sondern der Körper sogar zurückspringen kann.

Das Fischstechen und Fischschießen. Das Werfen flacher Körper auf einen Wasserspiegel, Rikoschettschüsse; das sogenannte Rollen der Kugeln.

Zweiter Abschnitt.

Zustände des Gleichgewichtes und der Bewegung flüssiger Körper für sich und in Verbindung mit festen.

I. Zustand des Gleichgewichtes.

A. Flüssiger Körper für sich.

a) Das Niveau.

Da die verschiedenen Aggregatszustände eine Folge sind des verschiedenen Verhältnisses zwischen Kohäsion und Schwere, aber innerhalb gewisser Gränzen ($K > S$, feste Körper; $K = S$, tropfbare; $K < S$, elastische); so werden auch die Erscheinungen bei tropfbar flüssigen Körpern von dem ihnen eigenthümlichen Grade ihrer Kohäsion und von der Schwere abhängig sein.

Es ist nicht möglich, flüssige Körper für sich in einer bestimmten Form zu erhalten, zu haüfen oder ihnen nach oben zu eine gekrümmte Fläche von namhafter Ausdehnung zu geben, denn die Flüssigkeitstheilchen schieben vermöge ihrer großen, in dem geringen Grade der Kohäsion liegenden Beweglichkeit wie auf einer schiefen Ebene so lange herab und nöthigen durch ihren Druck die darunter befindlichen so lange seitwärts zu entweichen, bis die freie Oberfläche, das Niveau, eine zur Richtung der Schwere senkrechte Lage hat.

Der künstliche Horizont, die Libelle, Wasserwage.

Alles Flüssige von einiger Ausdehnung bildet in einem leichteren Fluidum im Zustande der Ruhe nach oben, in einem schwereren nach unten eine ebene Begränzungsfläche.

Wasser in Luft, Quecksilber in Wasser, Kohlenstoff in atmosphärischer Luft; Luft in Wasser, Wasser in Quecksilber, Wasserstoff in atmosphärischer Luft. — Im ersten Falle ist also die Mündung des Gefäßes nach oben, im letztern nach unten zu halten.

Bringt man in dasselbe etwas weitere Gefäß Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewichte und keiner chemischen Verwandtschaft, so wird ihr Gleichgewicht unter einander nicht früher hergestellt sein, als bis sie sich nach dem spezifischen Gewichte abgelagert haben, die leichteste als die oberste; aber alle Gränzschichten sind horizontal.

Die sogenannte Elementarwelt: Quecksilber, Weinsteinöl, Alkohol, Steinöl. Das Passevin, um scheinbar Wasser in Spiritus oder Wein zu verwandeln. An der Mündung der Flüsse ins Meer strömt das leichtere Flußwasser über das salzige und schwerere Seewasser eine weite Strecke ins Meer, während das Meerwasser seinerseits in dem untersten Theile des Flußbettes ins Land eindringt. — In engen Röhren kann sich eine schwerere Flüssigkeit über einer leichteren, z. B. Wasser über Luft, Quecksilber über Wasser oder Luft, befinden. Warum?

Wirkte auf die tropfbar flüssigen Körper nur die zunächst als ruhend gedachte Erde, so müßte wegen der allenthalben nach dem Erdmittelpunkte gerichteten Schwere die Oberfläche aller Meere genau der Kugelform entsprechen. Wirken aber auf die Gewässer der Erdoberfläche noch andere Kräfte, so muß das Niveau derselben senkrecht sein auf der Resultirenden dieser Kräfte.

Die durch die Rotation der Erde hervorgebrachte Zentrifugalkraft macht mit dem Erdradius des betreffenden Ortes einen um so größeren stumpfen Winkel (Fig 53.), je näher der Ort am Äquator ist, und bewirkt, daß die Meere an den Polen abgeplattet sind.

Eben so ist aus der Anziehungskraft des Mondes und der Schwere die Resultirende abzuleiten, welche nicht mehr senkrecht ist, so daß das Meerwasser stets in dem Bestreben begriffen ist, die durch den Mond gestörte Gleichgewichtslage wieder zu erlangen.

Endlich wirkt auch die Kapillarität der Schwere entgegen und erzeugt eine schiefe Resultirende, weßhalb im Zustande des Gleichgewichts keine horizontale Ebene entsteht.

b) Gleichgewicht im Inneren der Flüssigkeit. Außer den Bedingungen für die Gleichgewichtslage der Oberfläche sind noch die für die Theile im Inneren der Flüssigkeit zu berücksichtigen. Gleichgewicht kann für jedes dieser Theilchen nur dann vorhanden sein, wenn die auf dasselbe wirkenden Kräfte einander das Gleichgewicht halten. Diese Kräfte können keine anderen sein, als die durch die Schwere ausgeübten Druckkräfte. Die oberste, auch noch so zarte Schicht ab (Fig. 54.) drückt wegen ihrer Schwere ganz gleichförmig auf die nächste cd darunter, diese auf die folgende ef u. s. w. bis an den Boden des Gefäßes. Aber soll ein Theilchen o einer Schicht im Gleichgewichte sein, so muß es nicht blos von den oberen eben so stark nach unten, wie von den unteren nach oben gedrückt werden; es muß auch, um nicht seitwärts zu gehen, von und nach allen Richtungen einen gleichen Seitendruck empfangen, also im Zustande der Ruhe natürlich diesen Druck auch selbst ausüben. **Der Druck, den jedes Flüssigkeitstheilchen erleidet und ausübt, ist demnach ein allseitiger und pflanzt sich durch die ganze flüssige Masse gleichmäßig fort.**

Diese Betrachtung ist auch noch richtig, wenn die Flüssigkeit von allen Seiten, also auch von oben, mag es durch Luft oder einen festen Körper sein, abgesperrt ist und dann an irgend einer Stelle einen von außen herkommenden Druck erleidet. Es wird jede Stelle der Flüssigkeit oder des sie einschließenden Gefäßes, welche dieselbe Ausdehnung hat, sie mag am Boden, seitwärts oder oben liegen, auch **denselben** Druck erleiden.

Der kartesianische Taucher. — Ist in einer mit Wasser gefüllten und zugebundenen Blase ein Ei, so wird dieses selbst durch einen bedeutenden Druck auf die Blase nicht zerdrückt, weil der Druck ein allseitig gleicher ist.

Eine halb so große Fläche wird auch die Hälfte des Druckes und eine doppelt so große auch den doppelten Druck auszuhalten haben. Ein geringer Druck auf eine kleine Stelle der abgesperrten Flüssigkeit ist also im Stande, einen großen Gesammtdruck hervorzubringen, und **überhaupt ist der Druck stets der Ausdehnung der betrachteten Flächen proportional.**

c) **Vertikaler Druck.** Nun wollen wir den Druck der Flüssigkeiten in vertikaler und horizontaler Richtung noch besonders betrachten.

α) **Vertikaler Druck nach unten.** Der Druck, welchen der Boden eines Gefäßes erleidet, ist von der Form desselben ganz unabhängig, weil der Druck, den ein bestimmtes Flüssigkeitstheilchen erleidet, sich nach allen Richtungen gleichmäßig verbreitet; der Druck steht also in gradem Verhältnisse mit der Größe des Bodens b, der senkrechten Entfernung e des Niveaus vom Boden und der Dichtigkeit d der Flüssigkeit und ist = be.d, **oder der Bodendruck ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssaüle, welche den Boden zur Grundfläche und seine senkrechte Entfernung vom Spiegel zur Höhe hat.**

Nur bei einem Gefäße mit senkrechten Seitenwänden (Fig. 55.) ist der Bodendruck gleich dem Gewichte der ganzen Flüssigkeit, bei schiefen kann er es sein (2); divergiren aber die Seitenwände nach oben (3), so ist das Gewicht der Flüssigkeit größer, konvergiren sie nach oben (4), so ist es kleiner, als der Bodendruck. — Mit derselben Menge Wasser kann man einen größeren oder kleineren Bodendruck erhalten, je nach dem das Gefäß nach unten oder nach oben divergirt. — Das hydrostatische Paradoxon. — Bestätigung durch Abwägen, wenn Gefäße mit beweglichem Boden angewendet werden.

β) **Vertikaler Druck nach oben.** So wie der Boden, erleidet auch jede darüber, aber noch unter dem Spiegel liegende Schicht einen Druck abwärts durch die darauf lagernde Flüssigkeit; aber wenn sie im Gleichgewichte sein soll, so muß sie auch einen eben so großen Druck aufwärts erfahren von der darunter befindlichen Flüssigkeit.

Dies läßt sich leicht bestätigen, wenn man in ein Gefäß mit Wasser einen leeren Glaszylinder mit einem gut anschließenden beweglichen Boden senkrecht hinabläßt, während man ihn mit einer sein Gewicht um Weniges übertreffenden Kraft anhält, z. B. durch einen Faden. Je mehr man ihn hinabsenkt, desto mehr wird dieser Boden angedrückt, so daß die ihn haltende Kraft an einer bestimmten Stelle wegbleiben kann. Füllt man aber dann den Zylinder mit Wasser, so fällt der Boden durch sein Gewicht ab, weil nun der Druck vom Wasser auf ihn nicht mehr ein einseitiger ist. Hätte man ihn in der Luft durch ein gewisses Gewicht angedrückt, so würde, wenn er unter Wasser getaucht ist, nach seiner Füllung bis zum äußeren Spiegel dasselbe Gewicht nothwendig sein. — Wenn bei einer offenen Röhre das eine Ende mit einer nicht angespannten Blase wasserdicht verbunden und dieselbe, mit einer Flüssigkeit theilweise gefüllt, in ein Gefäß mit Wasser getaucht wird, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre um so höher, je tiefer die Röhre eingetaucht wird.

Soll der kartesianische Taucher tiefer sinken, so muß er schwerer gemacht werden, damit sein Gewicht den nach unten zu sich vermehrenden Druck in der Flüssigkeit übertreffe. — Bekommt ein Schiff im Boden eine Öffnung, einen Leck, so strömt das Wasser durch sie mit um so größerer Gewalt, je tiefer diese Öffnung unter dem Wasserspiegel liegt. — Wegen des starken Wasserdruckes müssen die Schiffsböden sehr stark konstruirt sein, eben so tief liegende Röhren von Wasserleitungen und die Schleußenboden. — Die in der Tiefe des Meeres lebenden Geschöpfe (Rochen, Schollen, viele Konchilien) haben auch einen ungeheuren Druck auszuhalten, der sich nach ihrer Größe und der Tiefe, in welcher sie leben, richtet. (Bei einer Tiefe von 1150′ beträgt er schon 36 Atmosphären oder 36 . 33 . 66 = 78408 Pfd. auf einen Quadratfuß). Warum ertragen sie denselben? — Leere Flaschen wurden in der Tiefe des Meeres entweder zerdrückt oder, wenn sie kugelförmig und hermetisch verschlossen waren, durch den Druck in einer Tiefe von 1200 Fuß mit Wasser angefüllt. (Cambells Reise nach Süd-Afrika). — Ein Stück Holz, welches durch einen Wallfisch mit in die Tiefe des Meeres genommen worden war, wurde dort durch den Druck des Wassers

so verdichtet, daß es später, selbst ausgetrocknet, nicht mehr schwamm. — Bote, welche in bedeutender Tiefe unter dem Wasserspiegel einige Zeit gelegen haben, werden nie wieder recht brauchbar.

Wenn Flüssigkeiten einem auch sehr bedeutenden Drucke ausgesetzt werden, so vermindert sich ihr Volumen dennoch nicht sehr bedeutend; Wasser z. B. bei einem Drucke einer Wassersaüle von mehr als 3000 Fuß nur etwa um 0,005 seines ursprünglichen Volumens. — Geringer Grad von Elastizität.

Den senkrechten Druck kann man dazu benutzen, um Gegenstände zu zerdrücken, zu pressen oder aus ihnen vermittelst auflösender Flüssigkeiten sogenannte Extrakte zu machen.

Ein fester Metallzylinder von etwa 1 Fuß Höhe und ½ Fuß Durchmesser habe drei Abtheilungen, gebildet durch zwei siebartige Scheiben, am Boden eine Abzugsröhre mit Hahn und durch den aufzuschraubenden Deckel gehe eine enge hohe, trichterförmig auslaufende Röhre. Bringt man in die mittlere Abtheilung den aufzulösenden Körper in verkleinertem Zustande, gießt in die obere Abtheilung und in die lange Röhre die auflösende Flüssigkeit (Wasser, Saüre, Alkohol), so fließt in die untere der Extrakt. — Reals-Wasserpresse.

d) **Der Seitendruck.** Da jeder Theil einer Flüssigkeit unterhalb des Niveaus im Zustande des Gleichgewichtes ringsum von allen Seiten gleich stark gedrückt wird, also auch seinerseits diesen Druck mit derselben Stärke erwiedert; so wird ein solcher Theil an der Seitenwand eines Gefäßes auf die von ihm getroffene Stelle derselben auch diesen Druck ausüben, welcher um so stärker ist, je tiefer diese Stelle unter dem Niveau liegt. Der Punkt a (Fig. 56.) in der senkrechten Seitenlinie mn erleidet den Druck der Saüle ma, Punkt b den von mb u. s. w. Trägt man nun die Perpendikel auf mn so auf, daß ae = am, bf = bm u. s. w.; so stellt das rechtwinklige, gleichschenklige Dreiseit mno den gesammten Seitendruck der Linie mn dar. — Gehen wir nun von einem Punkte und einer Linie in der Seitenfläche zu einem Flächentheile über, so entsteht die Frage: welchen Druck hat dieser zu erleiden? Es sei z. B. ein Kreis, so erleidet der Mittelpunkt o (Fig. 57.) den Druck der Saüle mo, b in dem senkrechten Durchmesser den Druck mb, a den Druck ma; aber mb = mo + ao und dazu ma = ma addirt, giebt mb + ma = 2mo, d. h.: es wird b um so viel mehr, um wie viel a weniger gedrückt wird, als o. Diese Betrachtung gilt für je zwei Punkte, welche in gleicher Entfernung zu beiden Seiten des horizontalen Durchmessers cd liegend angenommen werden, so daß die kreisförmige Seitenfläche auch horizontal in der Tiefe des Mittelpunktes gelegt werden könnte, ohne den Druck, welchen sie erleidet, zu verändern. Da eine ähnliche Betrachtung auch für anders gestaltete Theile in den Seitenflächen durchführbar ist, so gilt das Gesetz: **Der Druck auf jede Stelle einer Seitenwand ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssaüle, welche diese Stelle zur Grundfläche und die Entfernung ihres Schwerpunktes vom Niveau zur Höhe hat.**

Jede Seite eines Würfels erleidet, wenn er vollständig gefüllt ist, die Hälfte des Bodendruckes d, also die vier Seitenflächen zusammen 2 d und der Druck auf alle fünf Flächen ist 3 d.

e) **Kommunizirende Röhren.** Wenn man in ein theilweise ge-

fülltes Gefäß ab (Fig. 58.) eine an die entgegen gesetzt liegenden Stellen der Seitenwand sich dicht anschließende Scheidewand cd herabläßt, so wird dadurch die gleichmäßige Höhe des Spiegels in allen Theilen nicht geändert, man mag diese Fläche bis auf den Boden herabbringen, wodurch zwei getrennte Gefäße entstehen oder nur bis in seine Nähe, wodurch unterhalb verbundene oder kommunizirende Abtheilungen mm und nn gebildet werden. Sind die Abtheilungen röhrenförmig, so heißen sie kommunizirende Röhren (Fig. 59). — Wären zwei unterhalb verbundene Röhren bis zu demselben Niveau or mit Quecksilber gefüllt, gösse man aber dann in das eine Rohr ac bis c Wasser, so würde dadurch das Quecksilber herabgedrückt z. B. bis m, also im anderen gleichweiten Schenkel um re = om herauf. Liegt nun im Zustande des Gleichgewichtes m mit n in gleicher Höhe, ist b die Durchschnittsfläche der Röhren, mc = H, ne = h die Höhen, S und s die spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten über dem Niveau mn; so ist der Druck auf m gleich bHS, der auf n gleich bhs und HS = hs, also H : h = s : S. Es gelten demnach für kommunizirende Röhren die Gesetze:

α) Gleichartige Flüssigkeiten stehen im Zustande des Gleichgewichtes in gleichen Höhen (ihre Spiegel liegen in derselben Horizontalebene);

β) bei ungleichartigen verhalten sich die Höhenstände wie umgekehrt die spezifischen Gewichte. (Die Höhenstände sind von dem Niveau der Berührungsstelle der ungleichartigen Flüssigkeiten zu rechnen).

Haarröhrchen bringen welche Verschiedenheit hervor? — Wasserwage oder Nivellirwage, Kanalwage (Wasserwage mit Luftblase); Wasserleitungen, auch über Anhöhen, in höhere Stockwerke von Gebaüden; Studirlampen, Standbrunnen; manche Quellen, selbst auf Höhen; Grundwasser bei Überschwemmungen und die Erscheinungen dabei; der Standmesser in Brennereien, bei Gasometern u. drgl.

Wenn man bei zwei kommunizirenden Röhren die eine durch einen absperrenden Deckel verkürzt, so erleidet dieser einen Druck nach aufwärts, welcher gleich ist dem Gewichte einer Wassersaüle, welche die den Deckel berührende Schicht zur Grundfläche und ihre Entfernung von dem Niveau in dem anderen Schenkel zur Höhe haben würde, weil sich jener Druck nur durch eine über dem Deckel befindliche Wassersaüle von dieser Ausdehnung im Gleichgewichte halten ließe. — Kann man statt des absperrenden Deckels verschiedene Röhren oder Gefäße (Fig. 60.) anschrauben, die nach oben konvergiren, divergiren oder in derselben Weite mit der Mündung mn fortgehen, so läßt sich dadurch praktisch darthun, daß die Wasserschicht mn unter allen Umständen im Gleichgewichte ist, wenn nur dieselbe Flüssigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch über mn ist. Das hydrostatische Paradoxon auf eine andere Art durchgeführt. — Eine kleine Wassermenge kann einen großen Gesammtdruck ausüben.

Der anatomische Heber und seine Benutzung als Wage. — Der hydrostatische Blasebalg; die hydrostatische Presse (von Brahma); Bildung von Teichen und Seen durch Erdstürze; nachtheilige Folgen, wenn kleine Löcher, z. B. von Maüsen, in Dämmen zur Abwehr des Wassers gelassen werden; eben so bei Schleußen. Berechnung des Druckes.

B. Zustand des Gleichgewichtes fester Körper in flüssigen.

a) **Untertauchende Körper.** Denkt man sich innerhalb einer ruhenden Wassermasse einen Wasserkörper, so wird er von dem umgebenden Wasser getragen oder im Gleichgewichte gehalten. Dasselbe würde mit jedem Körper von einer beliebigen Form der Fall sein, wenn er genau das Gewicht des eben so großen Wasserkörpers hätte; er würde, untergetaucht, von dem umgebenden Wasser in jeder Lage getragen werden und somit sein ganzes absolutes Gewicht im Wasser verloren haben, wie z. B. eine sorgfältige Mischung aus 225 Gewichtstheilen weißen Wachses u. einem Theile fein gepulverten Zinnober. Denkt man sich irgend einen anderen Körper, z. B. von der Form eines graden Zylinders senkrecht vollständig unter das Wasser getaucht, so hebt sich der Druck der Flüssigkeit auf die Seitenfläche auf, weil dem Drucke auf eine Stelle ein gleicher in derselben Horizontalebene entgegen gesetzt wirkt; aber die untere Fläche wird durch eine Wassersaüle von der Höhe H (von dieser Fläche an bis zum Spiegel) aufwärts, die obere Fläche durch eine Wassersaüle von der Höhe h (von der oberen Fläche bis zum Spiegel) abwärts gedrückt. Da nun H — h die Höhe des Zylinders ist, so übertrifft der Druck des Wassers auf die untere Fläche den auf die obere grade um das Gewicht einer Wassersaüle von dem Volumen des Zylinders. Die Wirkung der Schwerkraft des Zylinders ist nach unten, also jenem Überschusse grade entgegen gesetzt gerichtet und wird so um denselben vermindert. Daraus ergiebt sich also das Gesetz: **Von jedem vollständig untertauchenden Körper wird ein Theil seines absoluten Gewichtes getragen, welcher dem Gewichte der aus der Stelle verdrängten Flüssigkeit gleich ist.**

An dem einen Ende einer Wage hänge ein hohler Metallzylinder, an diesem unterhalb mittelst eines feinen Drahtes ein massiver, welcher den hohlen ganz genau auszufüllen im Stande ist, an dem anderen Ende der Wage seien beide durch Gewichte ins Gleichgewicht gebracht. Taucht man nun blos den massiven Zylinder unter Wasser, so sinken die Gewichte; gießt man aber, während der massive Zyl. noch vollständig unter Wasser ist, den hohlen voll Wasser, so ist das Gleichgewicht wieder hergestellt, also der massive Zyl. hat unter Wasser so viel von seinem Gewichte verloren, als das Gewicht eines eben so großen Wasserkörpers beträgt.

Das absolute Gewicht eines Kubikfußes Wasser läßt sich dadurch bestimmen, daß man von einem genau einen Kubikfuß großen und im Wasser untersinkenden Körper (Metallwürfel) 1) das absolute Gewicht in der Luft, 2) das Gewicht im Wasser bestimmt; die Differenz oder der Gewichtsverlust des Körpers ist das gesuchte Gewicht. 66 Pfd.

Bestimmung des Volumens fester Körper, indem man untersucht, wie oft das Gewicht eines Kubikfußes Wasser in dem Gewichte des von ihm aus dem Wege gedrängten Wassers enthalten ist. Man bestimmt hierbei durch die hydrostatische Wage seinen Gewichtsverlust im Wasser.

Auch läßt sich bestimmen, wie viel von zwei Körpern in einer Mischung aus ihnen enthalten ist, wenn man die Gewichtsverluste sowohl der Mischung als auch mit ihr gleich schwerer oder auch ungleich schwerer Mischungsantheile kennt. Wenn z. B. c U. eines Metallgemisches im Wasser o U., a U. der ersten Sorte m U., b U. der zweiten Sorte n U. verlieren, so lassen sich die Gewichtsantheile x und y aus

1) $x + y = c$ und 2) $\frac{mx}{a} + \frac{ny}{b} = o$ finden. — Die sog. Kronenprobe.

Ein Körper verliert um so mehr von seinem Gewichte, je größer bei bestimmtem Gewichte sein Volumen und je größer das spezifische Gewicht der Flüssigkeit ist.

Untergesunkene Körper lassen sich im Wasser leichter fortbewegen, als in der Luft: das Retten ertrinkender Menschen, selbst durch Hunde. Die Fischer beim Fischfange mit Netzen.

b) Schwimmende Körper. Bei der Vergleichung zwischen dem absoluten Gewichte A eines in eine Flüssigkeit getauchten Körpers und dem Gewichte a der von ihm verdrängten Flüssigkeit können offenbar drei Fälle vorkommen: 1) ist $A = a$, so schwebt der ganze Körper in der Flüssigkeit; 2) ist $A > a$, so fällt er in ihr mit der Kraft $A - a$; 3) ist $A < a$, so fällt er mit der Kraft $-(A - a)$, d. h. er steigt mit der Kraft $a - A$ so lange, bis A gleich ist dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit, über welche er theilweise hervorragt oder auf welcher er passiv schwimmt.

Weiß man von einem schwimmenden Körper die Größe des unter dem Niveau befindlichen Theiles und das Gewicht eines Kubikfußes der betreffenden Flüssigkeit, so läßt sich das absolute Gewicht des schwimmenden Körpers finden.

In einer bestimmten Flüssigkeit muß ein Körper von bestimmtem Volumen um so tiefer einsinken, je größer sein spezifisches Gewicht ist; aber auch ein bestimmter Körper sinkt um so tiefer ein, je spezifisch leichter die Flüssigkeit ist.

Körper, die spezifisch schwerer als das Wasser sind, können durch Verbindung mit leichteren oder durch Aushöhlung zum Schwimmen gebracht werden.

Rettungsboote mit Kork; Schwimmgürtel und Harnische; kupferne Pontons zu Schiffbrücken; leere Signaltonnen für Schiffer. Versunkene Gegenstände bringt man wieder empor, indem man leere Tonnen oder Schläuche mit Luft an sie zu befestigen sucht (die Luft hat man chemisch unter dem Wasser entwickelt). Warum kommen Ertrunkene nach einigen Tagen von selbst wieder an die Wasseroberfläche? Warum ertrinken so viele des aktiven Schwimmens unkundige Menschen, obwohl sie meist etwas leichter als Wasser sind, und warum können sich Menschen vorzüglich durch aktives Schwimmen sichern? — Schiffe, die aus dem Meer- in Flußwasser kommen, gehen hier tiefer. Warum schwimmt es sich auf dem Meerwasser leichter als auf dem Flußwasser? — Um bei Schiffen zu bestimmen, wie stark sie belastet werden dürfen, muß man sie aichen, d. h den Schiffsraum zwischen dem Niveau, bis zu welchem das unbelastete Schiff einsinkt, und dem, bis zu welchem es belastet werden soll, berechnen. Beträgt er z. B. 3000 Kubikfuß, so bedarf man $3000 . 66$ ℔. $= 198000$ ℔. $=$ 1800 Zentner. — Selbst ein sanfter Wind treibt schwere Schiffe mit Leichtigkeit vor sich hin oder auch nur wenige Menschen sind im Stande, ein schweres Schiff stromaufwärts zu ziehen.

Nun entsteht noch die Frage, ob jeder Körper, er mag in der Flüssigkeit ganz untertauchen oder auf ihr schwimmen, in jeder Lage im Gleichgewichte ist. Denken wir uns das von dem eingetauchten Körper verdrängte Wasser als einen selbstständigen Körper, so hat dieser seinen bestimmten Schwerpunkt und wurde vor dem Eintauchen durch die umgebende Flüssigkeit im Gleichgewichte erhalten. Fällt nun von dem eingetauchten Körper, er mag untersinken oder schwimmen, der Schwerpunkt in die Lothrechte vom Schwerpunkte des verdrängten Wasserkörpers, so ist er im Gleichgewichte und zwar im indifferenten, wenn die Schwerpunkte in einander

fallen; im labilen, wenn der erste über, im stabilen, wenn er unter den letzteren fällt.

Das labile Gleichgewicht geht außerordentlich leicht in das stabile über, wobei der Körper wie ein Pendel oszillirt, als ob er im Schwerpunkte des Wasserkörpers aufgehangen wäre. — Er schwimmt um so stabiler, je tiefer sein Schwerpunkt liegt und je breiter der eingetauchte Theil ist. — Ballast der Schiffe. Lebende Fische befinden sich im Wasser wegen der nach dem Rücken zu liegenden Schwimmblase im stabilen Gleichgewichte. — Das Metazentrum.

Durch die obigen Prinzipien wird es möglich, das Niveau in einem Gefäße, aus welchem Wasser fließt, stets in derselben Höhe zu erhalten. In dem Ausflußgefäße a (Fig. 61.) befinde sich ein schwimmendes Hohlgefäß b, welches an Seitenstangen ss unterhalb ein anderes Gefäß c trägt, um das aus dem Boden von a kommende Wasser durch einen Trichter an der Decke aufzunehmen und dadurch das System bc um eben so viel schwerer zu machen, als das aus a geflossene Wasser wiegt, wodurch auch b um eben so viel tiefer einsinkt, als der Wasserverlust in a beträgt.

Prony's Schwimmer.

c) Bestimmung des spezifischen Gewichtes. Das Gesetz, daß ein im Wasser untergetauchter Körper so viel an seinem absoluten Gewichte verliert, als die verdrängte Wassermenge wiegt, bietet uns ein neues und einfaches Mittel zur Bestimmung der Dichtigkeit oder des spezifischen Gewichtes fester und tropfbar flüssiger Körper dar. Ist das absolute Gewicht des Körpers (oder eigentlich sein Gewicht in der Luft) a und wiegt er im Wasser (hydrostatische Wage) um w weniger, so daß w das Gewicht des eben so großen Wasserkörpers ist, so ist das spezifische Gewicht desselben $s = \frac{a}{w}$.

Für das spezifische Gewicht eines Gemenges läßt sich auch leicht eine Formel finden. Ist A sein absolutes, S sein spezifisches Gewicht, sind a und b die absoluten, α und β in der Ordnung die spezifischen Gewichte der Gemengtheile; so steht, wenn man berücksichtigt, daß $A = a + b$ und, nach dem Obigen (aus $s = \frac{a}{w}$), $w = \frac{a}{s}$ wird:

$$S = \frac{A}{\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta}} = \frac{A\alpha\beta}{a\beta + b\alpha} = \frac{(a+b)\,\alpha\beta}{a\beta + b\alpha}.$$

Das spez. Gew. von chemischen Mischungen weicht fast immer von dem arithmetischen Mittel der Dichtigkeiten der Mischungsantheile ab; die Abweichung ist auch verschieden für verschiedene Verhältnisse derselben Stoffe.

α) Bestimmung des spez. Gew. kleiner fester Körper. An einem mehr oder minder zylinderförmigen hohlen Glas- oder Metallkörper hängt ein Drahteimerchen und daran eine kleine schwere Masse (Metallkugel, Glaskugel mit Quecksilber), um das Ganze in Wasser bis gegen das Ende des oberen Theiles, welcher in einen engen Hals mit einem Tellerchen ausläuft, senkrecht einsinken zu machen. Der enge Hals hat ein feines Merkzeichen etwa durch einen Feilstrich. Man legt nun den zu untersuchenden Körper auf das Tellerchen und zu ihm so viele Gewichtstheile, daß das Ganze bis an das Merkzeichen eingesunken ist; dann nimmt man den Körper weg und legt statt seiner das Gewicht a hinzu, um wieder

das Instrument bis ans Merkzeichen einsinken zu machen; a ist dann des Körpers absolutes Gewicht. Nun nimmt man auch a von oben weg, legt den Körper, er mag schwerer oder leichter als Wasser sein, ins Eimerchen oder Drahtkörbchen und bringt durch Zulagegewichte w das Instrument aufs Neue bis zum Merkzeichen unter Wasser und w ist das Gewicht des gleich großen Wasserkörpers; also das spezifische Gewicht $= \frac{a}{w}$. — Nicholsons Aräometer, Dichtigkeitsmesser, Senkwage.

Saugt der Körper Wasser ein, so muß bei der Bestimmung seines Gewichtsverlustes im Wasser das Gewicht des eingesaugten Wassers abgezogen werden.

β) Bestimmung des spez. Gew. tropfbarer Flüssigkeiten.

1) Man kann sich desselben Aräometers leicht auch zur Bestimmung des spez. Gew. von Flüssigkeiten bedienen. Wenn nämlich Körper von verschiedenem Gewichte gleich viel Flüssigkeiten verschiedener Art verdrängen, so verhalten sich die Dichtigkeiten der letzteren wie die Gewichte der ersteren. Wenn man beim Eintauchen des Instrumentes in Wasser zu seinem Gewichte a das Gewicht α zulegen muß, um es bis zum Merkzeichen einsinken zu machen, so wird man zur Erreichung dieses Zweckes für eine leichtere Flüssigkeit weniger, z. B. b, für eine schwerere mehr, z. B. β zulegen müssen; das spezifische Gewicht der neuen Flüssigkeit ist also $\frac{a+b}{a+\alpha}$ und $\frac{a+\beta}{a+\alpha}$.

Je dünner der obere Hals ist, desto empfindlicher ist das Instrument.

2) Bestimmt man den Gewichtsverlust irgend eines festen Körpers, z. B. eines Glastropfens an einem Platindrahte oder Roßhaare, sowohl im Wasser als auch in einer zu untersuchenden Flüssigkeit und dividirt man diesen Verlust durch jenen, so hat man das spezifische Gewicht der letzten Flüssigkeit.

3) Ein Körper von bestimmtem Gewichte P sinkt um so weniger in eine Flüssigkeit, je schwerer diese ist. Sind S und s die spezifischen Gewichte zweier Flüssigkeiten, V und v die eingetauchten Raumtheile jenes Körpers, so ist $P = VS$ und vs, also $VS = vs$ und $V : v = s : S$, d. h., die Dichtigkeiten zweier Flüssigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Raüme, um welche ein Körper von bestimmtem Gewichte in sie einsinkt. — Wenn man ferner das spez. Gewicht S' eines auf einer Flüssigkeit schwimmenden Körpers, sein ganzes Volumen V' und das des eintauchenden Theiles v' kennt, so läßt sich das spez. Gew. s der Flüssigkeit auch bestimmen; denn das absolute Gewicht P des Körpers ist $= V'S'$ und $= v's$ und $V' : v' = s : S'$, d. h.?

Skalenaräometer. Das obige Prinzip läßt sich nun anwenden. Man nehme eine dünne, überall gleich weite, am unteren Theile meist mit einer Quecksilberkugel versehene hohle Glasröhre, welche zweckmäßig eingetheilt ist (Skalenaräometer). Wenn das Volumen eines Röhrenstückes zwischen zwei Theilstrichen genau $\frac{1}{100}$ von dem ins Wasser einsinkenden Volumen des Instrumentes ist, so kann man durch eine einzige Beobachtung bestimmen, welches das Verhältniß des Volumens einer Flüssigkeit zu dem des Wassers bei gleichem absoluten Gewichte ist und dadurch

das spez. Gew. leicht angeben. — Ist der Wasserpunkt mit 100 bezeichnet und der Nullpunkt der unterste und sänke das Aräometer in einer anderen Flüssigkeit nur bis 80 ein, so heißt dies: es wiegen 80 Raumtheile dieser Flüssigkeit so viel als 100 Raumtheile Wasser, so daß das spez. Gew. $= \frac{100}{80} = 1{,}25$ ist. Sänke aber das Instrument bis 120 ein, so wäre das spez. Gewicht $\frac{100}{120} = 0{,}838$. Man muß also immer die Anzahl der beobachteten Skalenpunkte in 100 dividiren.

Um aber die Skale selbst zu erhalten, bestimmt man zuerst den Wasserpunkt und legt ihn vermittelst einer geringeren oder größeren Menge Quecksilber für Aräometer zu leichteren Flüssigkeiten an das untere, zu schwereren an das obere Ende der Röhre; zur Auffindung eines zweiten Punktes dient im ersten Falle eine Mischung von Weingeist und Wasser, deren spez. Gewicht genau 0,8 ist, welches dem Theilstriche 125 entspricht, wenn der Wasserpunkt mit 100 bezeichnet ist, indem $\frac{8}{10} = \frac{100}{125}$ ist, so daß man die Entfernung vom Wasserpunkte bis zu diesem zweiten Punkte nur in 25 gleiche Theile zu theilen und dergleichen weiter nach oben aufzutragen braucht; in dem zweiten Falle wählt man eine Flüssigkeit, deren spez. Gewicht genau 1,25 ist und findet aus der Proportion $1 : 1{,}25 = x : 100$ (die spez. Gew. der Flüssigkeiten verhalten sich wie umgekehrt die Raumtheile, um welche das Aräometer von bestimmtem Gewichte einsinkt), $x = 80$ oder daß das Aräometer in dieser Flüssigkeit bis auf den Theilpunkt 80 einsinkt, so daß der Zwischenraum bis zum Wasserpunkte in 20 gleiche Theile zu theilen und die weitere Auftragung so fortzuführen ist.

Dieses Instrument ist das Volumeter von Gay-Lussac; Gewichts- und Umfangsprozenten-Aräometer.

4) Im praktischen Leben will man haüfig den Grad der Konzentrazion einer Flüssigkeit oder das Mischungsverhältniß zweier Flüssigkeiten bestimmen ohne direkt das spez. Gew. wissen zu wollen. — Wenn der absolute Alkohol ein spez. Gew. von 0,793 hat, so muß eine Mischung mit Wasser eine Dichtigkeit haben, die zwischen 1 und 0,793 liegt, aber größer ist, als das arithmetische Mittel, welches man aus den Mischungsverhältnissen berechnet, weil bei der Vermischung beider eine Raumverengung stattfindet (auf 15 + 15 Zoll in einer Röhre etwa ½ Zoll). Darnach läßt sich eine Skale entwerfen, welche die Prozente des Alkohols angiebt, wobei die Zahl 100 den absoluten Alkohol mit dem spez. Gew. 0,793; die Zahlen 90, 80, 70, 60 u. s. w. nach der Reihe den spez. Gewichten 0,828; 0,857; 0,883; 0,908 u. s. w. angehören. Die Abtheilungen in einem solchen Prozentenaräometer (Tralles) sind ungleich; sie nehmen nach dem Nullpunkte hin ab.

In ähnlicher Weise lassen sich Aräometer für Salzlösungen, für Saüren u. s. w. konstruiren. Bier- und Weinwagen; Laugenmesser; Salzspindeln.

II. Zustand der Bewegung tropfbar-flüssiger Körper.

A. Vertikaler Druck bewegter Flüssigkeiten. Bei der Bewegung tropfbarer Körper kann entweder ein Strahl betrachtet werden, welcher aus einem Gefäße nach verschiedenen Richtungen (senkrecht abwärts, senkrecht aufwärts, horizontal, schräge) strömt, oder die Strömung von

Flüssigkeiten in Röhren und offenen Kanälen, oder der Stoß bewegter Flüssigkeiten gegen feste Körper.

a) Hat ein gefülltes Gefäß eine Bodenöffnung, so strömt die Flüssigkeit z. B. Wasser aus ihr und bringt dadurch die Flüssigkeit darüber in Bewegung. Wenn das abfließende Wasser so schnell entweicht, als das darüber befindliche folgen will, wie wenn bei einem Gefäße mit senkrechten Wänden der Abfluß durch die ganze Bodenfläche geschähe, so erfolgt kein Druck der Wassermassen auf einander und die Bewegung geschieht wie im freien Falle. Aber fließt weniger Wasser ab, als nachfließen kann, so drückt das nachfolgende auf jenes (hydrodynamischer Druck), welches einen Gegendruck ausübt, wodurch theils die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers beschleunigt, theils ein Druck auf die Seitenwände hervorgebracht wird.

Die Geschwindigkeit x des wirklich ausfließenden läßt sich aber für den Beginn des Ausflusses ermitteln. Ist (Fig. 62.) mn der Querschnitt der Öffnung, gh der des Gefäßes, ist darin das Wasser in einer gewissen Zeit bis ik gefallen, so ist das Volumen des ausgeflossenen Wassers = gikh = gh . cs = mn . x, woraus sich mn : gh = cs : x ergiebt, d. h.: die Querschnitte der Öffnung und des Gefäßes verhalten sich, wie umgekehrt die Geschwindigkeiten, womit das Wasser ausfließt und sinkt und $x = \frac{gh . cs}{mn}$.

Wäre die Öffnung mn im Verhältniß zur Weite des Gefäßes so gering, daß die übrige Flüssigkeit durch den Ausfluß nicht merklich in Bewegung käme, so würde die unmittelbar senkrecht über mn lagernde Schicht mnpo als frei herabfallend anzusehen sein und nicht durch die darüber lagernde Flüssigkeit beschleunigt werden, also mit einer Geschwindigkeit aus der Öffnung zu strömen anfangen, welche ihrer Höhe mo = r entspricht. Diese Geschwindigkeit ist (nach Seite 45) gleich $\sqrt{2ar}$. Die Beschleunigung der ausströmenden Schicht wird aber nicht blos durch ihr eigenes Gewicht, sondern auch noch durch den Druck der darüber lagernden Flüssigkeit bewirkt. Es verhält sich also die beschleunigende Kraft der Schwere (a) zu der, welche die Flüssigkeit austreibt (α) wie mo : mc, wobei mc die Druckhöhe (ρ) ist. Aus $a : \alpha = r : \rho$ folgt $\alpha = \frac{a\rho}{r}$. Wenn nun aber die beschleunigende Kraft, mit welcher die Schicht ausfließt, nicht a sondern α ist, so muß auch die Ausflußgeschwindigkeit $\varepsilon = \sqrt{2\alpha r}$ sein. Wird in diesen Ausdruck der obige Werth für α gesetzt; so wird $\varepsilon = \sqrt{2a\rho}$, welches die Endgeschwindigkeit eines Körpers für den freien Fallraum ρ ist. Die Ausflußgeschwindigkeit ist gleich der Geschwindigkeit, welche ein Körper frei fallend erlangen würde, wenn er von dem Spiegel der Flüssigkeit bis zur Mündung herabfiele. Daraus folgt, daß die Ausflußgeschwindigkeit nicht von der Natur der Flüssigkeit, sondern nur von der Tiefe der Öffnung unter dem Niveau abhängt und daß sich für Öffnungen von verschiedener Tiefe unter dem Spiegel die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen verhalten.

Bei der vierfachen Tiefe der Öffnung unter dem Niveau ist die Ausflußgeschwindigkeit nur doppelt so groß, als in der einfachen Tiefe; da aber bei

dieser doppelten Geschwindigkeit auch doppelt so viel ausfließt, so ist das Kraftmoment, d. i. der Druck wirklich vier mal so groß. Um dem Wasser die dreifache Geschwindigkeit zu ertheilen, muß die Druckhöhe 9 mal größer sein, als für die einfache Geschwindigkeit, wobei die drei mal größere Geschwindigkeit auf eine drei mal größere Wassermenge kommt. — Wird keine Flüssigkeit nachgegossen, so ist die zur Entleerung nöthige Zeit doppelt so groß, als wenn bei gleich bleibendem Niveau dieselbe Menge ausfließen sollte.

b) Denkt man sich die Bodenschicht eines Gefäßes erweitert (Fig. 63.) und in der oberen Wand der Erweiterung eine Sprungöffnung angebracht, so erhält man einen senkrecht aufwärts gerichteten Strahl. Wenn das Wasser aus a mit der durch die Fallhöhe ba erlangten Geschwindigkeit ausströmte, so müßte es auch wieder bis zum Spiegel b steigen. Dies ist aber nicht der Fall, theils weil das der Ausflußöffnung von allen Seiten in verschiedenen Richtungen zuströmende Wasser sich selbst in der Bewegung verhindert, theils weil die aufsteigenden Wassertheilchen durch die herabfallenden zum Theil zurück gerissen werden. Durch eine kleine Neigung des Strahles kann man unter sonst günstigen Umständen wohl 0,9 der Druckhöhe erreichen. — Durch eine Öffnung in einer möglichst dünnen Platte wird die Reibung vermindert.

An der Wilhelmshöhe bei Kassel beträgt die Sprunghöhe der Fontainen 80 bis 90 Fuß, in La Granja gegen 130 F. — Denkt man sich bei kommunizirenden Röhren den einen Schenkel plötzlich abgekürzt, so entsteht auch ein solcher Springstrahl, der unter übrigens gleichen Umständen um so höher gehen wird, je enger der verkürzte Schenkel ist, weil sich die Quantität der Bewegung auf eine kleinere Masse konzentrirt. Solche künstliche Springbrunnen bietet uns die Natur in den gebohrten oder artesischen Brunnen dar, bei welchen das aus dem Bohrloche hervorbrechende Wasser meist bis zu einer sich stets gleich bleibenden Höhe steigt oder springt, weil die wasserhaltige angebohrte Schicht mit sehr ergiebigen und einen bestimmten Wasserstand behaltenden Raümen in Verbindung steht. — Das Bohrloch der Salzsoole bei Preußisch-Minden hat eine Tiefe von 2219,5 F. Durchstechung der Blase des anatomischen Hebers. Heberspringbrunnen.

Die Wassersaülenmaschine. Ferner benutzt man den Druck des Wassers in ähnlicher Weise wie den des Dampfes, um einem Kolben in einem Zylinder eine abwechselnd auf- und abwärts gehende Bewegung zu geben, jenachdem man das Druckwasser abwechselnd unter und über den Kolben leitet und dafür sorgt, daß das Wasser aus dem Theile des Zylinders einen Abfluß hat, nach welchem sich der Kolben mit seiner Stange, die den Zu- und Abfluß selbst regelt, bewegt. Trägt der Kolben noch eine Stange an der anderen Seite, die mittelst einer Stopfbüchse durch den Boden des Stiefels geht, so kann diese dazu benutzt werden, um ein Saug- und Druckwerk in Thätigkeit zu setzen.

Durch eine solche Maschine hebt man mit einem Druckwasser von 140 Fuß Höhe die Salzsoole von Reichenbach in Baiern 346 Fuß hoch; mit einer andern sogar 1218 Fuß.

B. Seitendruck bewegter Flüssigkeiten überhaupt. Da der Druck, welchen ein bestimmtes Flüssigkeitstheilchen ausübt, nach allen Richtungen derselbe ist, so gelten die obigen Gesetze auch für Öffnungen an den Seitenwänden, also für horizontal hervorspringende Strahlen. Um dieselben durch Versuche zu bestätigen, muß man Gefäße nehmen, deren Inhalt im Vergleiche zur Weite der Öffnungen bedeutend ist, damit die

Höhe des Niveaus ziemlich gleich erhalten werde; letztere selbst müssen, um die Reibung möglichst zu vermeiden, in ganz dünne Metallplättchen, die man einschieben kann, gemacht werden. Die horizontal ausfließenden Strahlen beschreiben eine Parabel, deren Gestalt von der Druckhöhe abhängt, aber wegen der Reibung und des Widerstandes der Luft etwas kleiner ausfällt, als es die Theorie verlangt.

a) Die Gestalt des ausfließenden Strahles bleibt nicht die der Ausflußöffnung, sondern der Strahl zieht sich bis auf eine gewisse Entfernung von der Öffnung mehr und mehr zusammen und zwar bei einer kreisförmigen in einer Entfernung, die dem Durchmesser gleich ist, bis auf etwa 0,8 des Durchmessers, um sich dann, außer bei einem aufwärts gerichteten, nicht weiter auszubreiten. Der Grund davon liegt in der Richtung, in welcher schon im Inneren des Gefäßes die Flüssigkeitstheile der Mündung zuströmen. Auf seinem weiteren Wege besteht der Strahl abwechselnd aus gleichförmig durchsichtigen und aus zerrissenen Stellen, die aus Tropfen bestehen, welche sich abwechselnd in die Breite und Länge ziehen. Bei quadratisch und anders gestalteten Öffnungen erleidet der Strahl auffallende Veränderungen der Gestalt.

b) Die Menge des aus einer Öffnung strömenden Wassers ist vorzüglich von der Größe der Öffnung und von der Geschwindigkeit abhängig. Wäre die Öffnung kreisförmig und die Geschwindigkeit nach dem obigen Gesetze von der Druckhöhe abhängig, so würde in einer Sekunde ein Wasserzylinder ausströmen, welcher die Öffnung o zur Basis hätte und zur Höhe den in der Sekunde zurückgelegten Weg eines Wassertheilchens oder die Ausflußgeschwindigkeit $\sqrt{2ar}$; also die Ausflußmenge in einer Sekunde wäre $o . \sqrt{2ar}$. Bei der Beobachtung findet man aber nur etwa 64 Prozent dieser Menge, weil nur der Kern des ausfließenden Strahles die theoretische Geschwindigkeit hat, während seine ganze äußere Umgebung sich langsamer bewegt.

c) Ansatzröhren sind dann ohne Einfluß auf die Menge des ausfließenden Wassers oder jeder anderen Flüssigkeit, wenn sie von der Öffnung an genau die Gestalt und Länge des freien Strahles bis zu der Stelle der größten Zusammenziehung haben. Wenn anders gestaltete Röhren andere Erscheinungen darbieten, so können diese nur theils durch die Adhäsion des Wassers an die Röhrenwände, theils durch seine Kohäsion, theils durch den äußeren Luftdruck bedingt sein. Wenn nun Ansatzröhren angewendet werden, die an der Mündung einen größeren Durchmesser haben, als die dünnste Stelle des zusammengezogenen Strahles, und dabei voll ausfließen, so muß die Ausflußgeschwindigkeit an der Mündung geringer sein, als an der engsten Stelle des freien Strahles, weil, wenn sie dieselbe wäre, zwischen diesen Stellen ein leerer Raum, welcher immer größer und größer würde, entstehen müßte, was offenbar nicht der Fall ist; also muß der Strahl bei vergrößertem Durchmesser eine geringere Geschwindigkeit haben. Wenn das nach der Form des zusammengezogenen Strahles konstruirte Ansatzrohr von der engsten Stelle an sich wieder erweitert, so hat dieses keinen Einfluß. Ein zylindrisches Ansatzrohr übt dann gar keinen Einfluß aus, wenn der Strahl frei durchfließt, wie durch eine Öffnung von gleicher Weite; hängt er sich aber an die Wände der Röhre an und erfüllt

er dieselbe, so wird die Ausflußmenge vergrößert, so zwar, daß, wenn sie im ersten Falle 0,64 der theoretischen betrug, sie jetzt 0,81 davon ist. Bei geringer Druckhöhe ist der Strahl hängend, bei größerer frei, bei mittlerer kann das eine oder das andere in verschiedenem Grade der Fall sein. Ein nach außen zu kegelförmig sich erweiterndes Ansatzrohr vermehrt die Ausflußmenge, wenn es voll fließt, noch mehr; die Geschwindigkeit des Strahles ist aber in beiden Fällen geringer, als ohne Rohr.

d) Stoß bewegter Flüssigkeiten in Ansatzröhren. Wenn an dem Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes horizontale Zylinderröhren von verschiedener Länge angebracht sind, so muß die Ausflußgeschwindigkeit mit der Länge und mit abnehmendem Durchmesser abnehmen, weil dadurch der Grad der Reibung an den Wänden vergrößert wird. Es geht demnach ein Theil des hydrostatischen Druckes verloren und wird zur Überwindung des Reibungswiderstandes verwendet. Man kann die Größe dieses Widerstandes dadurch sichtbar machen, daß man auf die horizontale Ausflußröhre ab (Fig. 64.) senkrechte Röhren ad, ce u. a. aufsetzt. Wenn die Bewegung des Wassers in ab nicht der ganzen Druckhöhe, sondern nur einem Theile derselben entspricht, so muß der andere Theil als hydrostatischer Druck auf die Röhrenwände wirken und das Wasser in ad, ce u. s. w. um so mehr aufwärts treiben, je näher diese Röhren dem Behälter A liegen. Ist die Ausflußgeschwindigkeit bei b nur $\frac{1}{4}$ von der theoretischen, so muß die Röhre dicht am Boden des Gefäßes als Seitendruck $\frac{3}{4}$ aushalten und die Ansatzröhre ad muß sich bis auf $\frac{3}{4}$ der Druckhöhe füllen. Wenn c der Halbirungspunkt von ab ist, so ist von c bis b nur noch die Hälfte der Reibung, also $\frac{3}{8}$ zu überwinden, und das Wasser steigt in ce nur halb so weit, als in ad. Verbindet man überhaupt d mit b, so liegen die Gipfel der senkrechten Wassersaülen, welche den Seitendruck darstellen, alle in db.

Enge Röhren vermindern die Ausflußgeschwindigkeit stärker, als weite, weil bei ihnen die Reibung an den Wänden im Verhältnisse zur Menge des fließenden Wassers größer ist. — Bei Wasserleitungen sind schnelle Biegungen und Verengungen zu vermeiden. Ist die Leitung steigend und fallend, so bringt man an den höchsten Stellen sogenannte Windstöcke an, an den tiefsten Wechselhaüschen, um durch jene die sich etwa ansammelnde Luft, durch diese den Schmutz abzulassen.

Endlich kann man durch den hydraulischen Widder von Montgolfier, bei welchem in einer Röhre durch Druck bewegtes Wasser in einzelnen Zwischenräumen in seiner Bewegung verhindert wird und dadurch stoßweise über ein nach oben sich öffnendes Ventil tritt, Wasser über die Druckhöhe aufwärts treiben. Mohr's Stoßheber.

e) Rückwirkung beim einseitigen Ausströmen von Flüssigkeiten. Hängt ein mit Wasser gefülltes zylindrisches Gefäß (Fig. 65.) am oberen Endpunkte c seiner Axe, so wird es eine senkrechte Lage haben, wie wenn der Körper ein massiver wäre; das Wasser drückt zwar auf die Seitenwände, dieser Druck ist aber in jeder horizontalen Schicht nach allen Richtungen ein gleicher, so daß Druck und Gegendruck in jeder einzelnen Richtung einander aufheben. Wird indeß bei a eine Öffnung gemacht, so hört dort der Druck auf die Wand auf, während er in der diametral entgegen gesetzten Stelle b noch fortbesteht und dem Gefäße eine

Seitenbewegung nach b giebt, welche der Richtung des ausfließenden Strahles entgegen gesetzt ist. — Reaction.

Der Rückschlag beim Abschießen eines Gewehres oder Geschützes ist diesem ähnlich.

Die obige Bewegung des Gefäßes läßt sich leicht in eine drehende verwandeln, wenn man am Boden des um eine senkrechte Axe drehbaren Gefäßes zwei oder mehre nach derselben Richtung mit ihren Öffnungen umgebogene Röhren anwendet (Fig. 66.) wodurch die Bewegungen einander unterstützen. — Segners Wasserrad.

Der Idee des segnerschen Wasserrades hat man auch eine praktische Richtung gegeben. Leitet man aber das Wasser von oben in den Behälter, so wird wegen des bedeutenden Gewichtes der Maschine der Druck auf den unteren Zapfen die Reibung zum Nachtheile der bewegenden Kraft sehr groß machen; deßhalb führt man das Wasser von einem höher gelegenen Behälter aus durch Röhren von unten in die Sförmig gestalteten Ausflußarme, welche in der Mitte oberhalb eine Axe mit dem Triebrade haben, so daß das Gewicht des Wasserrades durch die nach oben gerichtete Kraft des gedrückten Wassers theilweise oder ganz aufgehoben und die Bewegung ungemein erleichtert wird.

In der Nähe von Koblenz, vorzüglich aber in Schottland sind solche Turbinen in Thätigkeit.

f) Stoß bewegter Flüssigkeiten, namentlich in offenen Rinnen. Treffen horizontal geleitete Wasserstrahlen von derselben oder von verschiedener Stärke und Geschwindigkeit einander in entgegen gesetzter Richtung, so beobachtet man bei der ganzen oder theilweisen Aufhebung der Geschwindigkeit eine Ausbreitung der Flüssigkeit zu verschieden gestalteten Figuren. Ähnliche Erscheinungen treten ein, wenn ein dünner, besonders ein senkrechter Wasserstrahl auf das Zentrum einer wohl polirten Metallscheibe geleitet wird, wobei die Verschiedenheit der Druckhöhe die Gestalt der Erscheinung wesentlich abändert.

Von praktischer Wichtigkeit aber wird der Stoß des Wassers, wenn er als bewegende Kraft angewendet wird, wie es bei Wasserrädern der Fall ist. Der Erfolg hängt unstreitig (wie bei der Bewegung eines festen Körpers in einem flüssigen) unter übrigens gleichen Umständen, namentlich also bei einer bestimmten Richtung des Stoßes von der Geschwindigkeit und der Menge des stoßenden Wassers oder der Größe der gestoßenen Fläche ab. — Die Geschwindigkeit wird beim freien Falle durch die Fallhöhe und bei der Bewegung in einem Gerinne oder Bette von dem Gefälle, welches nach der Theorie der schiefen Ebene von dem Verhältnisse der senkrechten Höhe zur Länge des durchlaufenen Weges abhängig ist, bestimmt. Ist die Größe der senkrecht getroffenen Fläche F, e die Geschwindigkeit des Wassers, a die beschleunigende Kraft der Schwere, also die zu e gehörige freie Fallhöhe (nach Seite 45) $= \frac{e^2}{2a}$; so ist die Größe Druckes $= \frac{e^2}{2a} \cdot F$ und bei einer schiefen Ebene davon der sovielte Theil, als es der Sinus des Neigungswinkels anzeigt.

Wenn während einer Sekunde eine Wassermasse von dem Gewichte m von der Höhe h herabfließt oder fällt, so ist das mechanische Moment dieser Wassermasse m . h und der Erfolg kann unter keinen Umständen diese Bewegungsquantität übertreffen, der Theorie nach nur erreichen. — Fallen z. B. 1000 ℔. Wasser in einer Sekunde durch 20 Fuß, so könnten dadurch 20000 ℔. in einer

Sekunde ins Gleichgewicht gesetzt werden, wenn nichts durch Reibungswiderstände verloren ginge. (Dieses ist eine Kraft von 50 Pferden, wenn auf die Dauer 1 Pferd eine Last von 100 ℔. 4 Fuß oder 400 ℔. 1 Fuß hoch hebt, oder von 40 Pferden, wenn 1 Pferd 500 ℔. in 1 Sek. auf 1 Fuß hebt).

Bewegen sich Flüssigkeiten in Rinnen, die ein Gefälle haben, so sollten sie nach der Theorie der schiefen Ebene allerdings eine beschleunigte Geschwindigkeit haben; sie ist aber überhaupt nicht nur kleiner, als sie nach der Größe des Gefälles sein sollte, sondern kann sogar eine gleichförmige werden, was eine Folge ist theils von dem Reibungswiderstande am Boden und an den Seitenwänden des Bettes, theils von der Kohäsion der Flüssigkeit selbst. Darin liegt auch der Grund davon, daß bei einem in grader Richtung strömenden Flusse das Wasser in der Mitte des Bettes etwas höher steht, als an den Ufern und daß bei einer bestimmten Wassermenge und einem bestimmten Gefälle die Geschwindigkeit mit der Breite des Gerinnes abnimmt. In einiger Tiefe fließt das Wasser etwas schneller als an der Oberfläche und am Boden.

Berühmte Stromschnellen des Konnektikut. — Die Erweiterung eines Flußbettes ist die Folge der Reibung und geschieht besonders an den Stellen der größten Geschwindigkeit, während die Ablagerungen mitgeführter Körper (Schlamm, Sand, Steinchen) an den Stellen geringerer Geschwindigkeit stattfindet, wie an den Mündungen der Ströme in solche Meere namentlich, die eine nur geringe Ebbe und Fluth haben.

Wenn von einem begränzten strömenden Wasser ein Stoß ausgeübt wird, so ist der Erfolg größer, als bei einem Wasser, dessen Theile schon in einiger Entfernung vor dem zu stoßenden Körper seitwärts ausweichen können.

Währe und Eindämmungen bei Mühlen; Schiffsmühlen.

Wasserräder bewegen sich entweder in einer lothrechten Ebene um eine horizontale Axe oder sind, was seltener ist, auf einer senkrechten Axe horizontal beweglich. Die ersteren heißen dann **unterschlächtig**, wenn eine größere bewegte Wassermasse mit geringem Gefälle die rechtwinklig am Umfange des Rades aufgesetzten Schaufeln unten trifft und mit sich fortreißt; **oberschlächtig**, wenn eine geringere Wassermasse mit bedeutenderem Gefälle die am Umfange des Rades befindlichen Zellen von oben füllt und dasselbe durch das Übergewicht umdreht; **mittelschlächtig**, wenn das Wasser wegen geringeren Gefälles vor der Radaxe in einer Höhe von $\frac{2}{3}$ des Raddurchmessers in die Zellen fällt, wodurch die Bewegungsrichtung der vorigen entgegen gesetzt wird.

Bei horizontalen Rädern mit senkrechter Axe (welche man auch Turbinen nennt — Fourneyron) wird ein horizontaler Wasserstrahl aus einem größeren höher gelegenen Behälter gegen die gekrümmten und auf einer horizontalen Scheibe senkrecht stehenden Schaufeln getrieben. Sie sind besonders zweckmäßig bei sehr hohen Gefällen und geringerer Wassermenge.

Sollte ein Rad durch den Stoß des Wassers eine seiner eigenen gleiche Geschwindigkeit erhalten, so müßte es der Bewegung des Wassers gar keinen Widerstand entgegen setzen; d. h. es dürfte gar nicht belastet sein und würde so auch gar keinen Erfolg hervor bringen; andererseits darf aber die Belastung nicht so groß sein, daß dadurch der Stoß des Wassers ganz aufgehoben und nur in einen Druck verwandelt wird, welcher jener Belastung das Gleichgewicht hält. Demnach wird die Geschwindigkeit des Rades kleiner, als die des

Wassers sein müssen, nach der Erfahrung die Hälfte und letzteres wirkt nur mit der Differenz der Geschwindigkeiten. Aber ein Theil von m . h wird durch die Reibungen und die Adhäsion aufgezehrt, so daß für unterschlächtige Räder in einem bestimmten Gerinne nur 0,3 . mh übrig bleibt. Um den Erfolg zu vergrößern (bis auf $\frac{2}{3}$. mh oder $\frac{3}{4}$. mh) hat man (Poncelet) krumme Schaufeln angewendet, in denen sich das Wasser wie auf einer schiefen Ebene bewegt und auffängt, so daß es seine Geschwindigkeit an die des Rades noch mehr abgiebt. Bei gut gebauten oberschlächtigen Rädern von nur mäßiger Geschwindigkeit beträgt der Erfolg $\frac{4}{5}$. mh.

Dritter Abschnitt.

Zustände des Gleichgewichtes und der Bewegung luftförmiger Körper für sich und in Verbindung mit festen und tropfbaren.

I. Gleichgewicht luftförmiger Körper.

A. Gleichgewicht der Gase überhaupt.

Derjenige Körper, welcher nicht nur den ganzen Erdkörper umgiebt, sondern auch allenthalben in die Öffnungen und scheinbar leeren Räume der Körper auf ihr eindringt, heißt die atmosphärische Luft. Da sie die Erde rings umgiebt und niemals von ihr weicht, so muß man sie als den allgemeinen Gravitationsgesetzen unterworfen betrachten; sie muß also wegen ihrer materiellen Theile auch einen Druck ausüben oder ein Gewicht besitzen.

Obwohl das Gewicht der atmosphärischen Luft nur etwa 0,001 von dem des Wassers beträgt, so ist dasselbe doch unmittelbar durch Abwägen zuerst eines leeren und dann eines lufterfüllten Ballons von sehr dünnem Glase ermittelt worden. Ein Kubikfuß wiegt gegen 2,112 Loth.

Mit dieser den Luftarten inwohnenden Kraft der Schwere steht aber noch eine zweite ihnen ganz eigenthümliche in Verbindung, vermöge welcher sie das Bestreben zeigen sich fortwährend auszudehnen, oder einen größeren Raum einzunehmen, wofern sie daran durch einen äußeren Druck nicht gehindert werden, wie es sich zeigt, wenn man den äußeren Druck auf eine auch nur geringe (in einer thierischen Blase, einem dünnen Glase u. s. w. enthaltene) Menge von Luft vermindert. Diese Kraft ist die Spannkraft, Expansivkraft, welche bei ihr stets thätig ist, ihr Volumen mag ein geringes oder großes, sie mag dicht oder dünn sein.

Daraus folgt, daß Luft in einem leeren Raume sich nach allen Richtungen verbreitet und keine bestimmte Form behält, wenn sie nicht ringsum durch einen äußeren Druck zusammen gehalten wird. Haben andere Körper dieselben beiden Eigenschaften, so sind sie auch denselben Gesetzen unterworfen; man kann also die atmosphärische Luft in sofern als Repräsentanten für die anderen Luftarten annehmen.

a) Das Gleichgewicht der Atmosphäre ist nur dann vorhanden, wenn die Expansivkraft an jeder Stelle derselben durch die daselbst wirksame Schwerkraft aufgehoben wird. Beim Zu- oder Abnehmen beider nimmt auch die Dichtigkeit, also auch das Gewicht der Luft zu oder ab.

b) Das Gleichgewicht eines anderen Gases, welches nicht mit der Atmosphäre verbunden ist, kann nur dann vorhanden sein, wenn seine Expansivkraft durch die dasselbe ringsum einschließenden Gefäße aufgehoben wird.

Bei Gasen in Flüssigkeiten giebt das spezifische Gewicht den Ausschlag, so lange keine chemische Verbindung statt findet.

c) Gleichgewicht verschiedenartiger Gase. Bringt man zwei verschiedene, auf einander nicht wirkende Luftarten in besonderen Gefäßen durch eine kleine Öffnung so in Verbindung, daß die leichtere (z. B. Wasserstoffgas) über der schwereren (z. B. Kohlensaüre) sich befindet, so wird keine, wenn sie auch gleiche Spannkräfte besitzen, in ihrem Behälter im Gleichgewichte bleiben, sondern es dringt allmählig von jeder so viel in das andere Behältniß, als zu einem gleichförmigen Gemenge gehört. Wäre das eine Gefäß leer, also darin kein Widerstand vorhanden gewesen, so würde die Verbreitung des Gases aus dem anderen plötzlich geschehen. Es entsteht nun die Frage, welche Spannkraft K das Gemenge hat. — Wenn die beiden Luftarten mit den Spannkräften S und s vor der Vereinigung bei der Berührung im Gleichgewichte sind und dabei von dem ganzen Raume G die Theile R und r einnehmen, so steht nach dem mariotteschen Gesetze

1) $S : s = R : r$, woraus
$(S + s) : S = (R + r) : R$ und

2) $K : S = G : R$, also $K = S + s$, d. h.: die Spannkraft, womit beide Gase den gegebenen Raum einnehmen, ist gleich der Summe der Spannkräfte, mit welchen sie einzeln diesen Raum einnehmen würden. Jedes Gas nimmt also den ganzen Raum mit einer Dichte und Spannkraft so ein, als ob das andere gar nicht vorhanden wäre; jeder Gemengtheil steht für sich im Gleichgewichte.

Wird in einem Raume durch das Verbrennen oder Athmen der Sauerstoff der atmosphärischen Luft verzehrt, also das Gleichgewicht des Sauerstoffes in diesem Raume mit dem des Sauerstoffes der äußeren Atmosphäre gestört, so wird aus letzterer der Verlust an Sauerstoff sofort ersetzt, wenn nur eine selbst unbedeutende Verbindung vorhanden ist.

Sind die Gase durch eine für sie durchdringliche Scheidewand (z. B. aus unglasirtem Tone, aus Holz, thierischen Blasen) getrennt, so zeigen sie ein ungleiches Bestreben in den Raum des anderen einzudringen oder sich zu diffundiren.

Die von porösen, festen oder tropfbaren Körpern absorbirten Gase verlieren in ihnen an Spannkraft; deßhalb dringt wegen des äußeren größeren Druckes mehr und zwar so lange Gas nach, bis die durch das Absorbiren vermehrte Dichte der des freien Gases das Gleichgewicht hält. Ist daher letzteres einem vermehrten Drucke ausgesetzt, so absorbirt auch jener Körper mehr Gas; eben so bei Erniedrigung der Temperatur. Beim Festwerden verlieren die flüssigen Körper das absorbirte Gas zum Theil (Eis enthält Luftblasen), beim anhaltenden Sieden ganz. Kommt ein Körper, welcher Gas absorbirt hat, mit einem anderen Gase in Berührung, so tritt zur Herstellung des stabilen Gleichgewichtes eine gleichförmige Mengung des absorbirten und freien Gases ein.

Anfertigung künstlicher, namentlich Kohlensaüre enthaltender Mineralwässer. — Wird eine gährende Flüssigkeit (Wein, Bier) luftdicht abgesperrt, so übt die sich entwickelnde Kohlensaüre einen solchen Druck auf die Flüssigkeit aus, daß sie viel Kohlensaüre absorbirt. — Wasserstoffgas wird selbst in einer durch einen Glaspfropfen und Quecksilber abgesperrten Flasche mit der Zeit

(1 — 1½ Jahre) zum Theil oder ganz durch atmosphärische Luft ersetzt. — Das Quecksilber der Barometer absorbirt allmählig Luft, so daß dieselben von Zeit zu Zeit ausgekocht werden müssen.

B. Druck der freien atmosphärischen Luft.

a) Seine Nothwendigkeit und Wahrnehmung. Bei der freien Atmosphäre ist die Wirkung der Schwere auf alle Theile derselben horizontalen Schicht dieselbe; also muß auch im Zustande des Gleichgewichtes die Elastizität in ihr gleich sein; weil aber die Luft sehr elastisch, kompressibel und flüssig ist, so müssen die verschiedenen horizontalen Schichten der Atmosphäre einen verschiedenen Grad von Dichtigkeit und Spannkraft besitzen, so zwar, daß beide nach unten zunehmen und sich für jeden Lufttheil durch einen auf die umgebenden oder benachbarten Körper nach allen Richtungen gleichmäßig ausgeübten Druck äußern, es mag dies im Freien sein oder in einem Raume, welcher mit dem Freien, wenn auch nur durch äußerst kleine Öffnungen oder Spalten, in Verbindung steht. Dies läßt sich leicht bestätigen.

Paßt in einen an beiden Enden offenen Hohlzylinder genau ein Stempel oder Kolben, verbindet man das eine Ende desselben mit einer luftdicht anschließenden feuchten Blase, während der Kolben in dem Zylinder an dieser Stelle steckt und zieht man ihn dann zurück, so wird die zwischen ihm und der Blase etwa noch befindliche Luft genöthigt, einen größeren Raum einzunehmen, kann also auf die Umgebung nicht mehr den früheren Druck ausüben: der Druck der in dem alten Zustande befindlichen äußeren Luft ist aber derselbe geblieben, also jetzt ein größerer, als bei der inneren und die natürliche Folge ist, daß die Blase einwärts gedrückt wird und zwar in allen möglichen Lagen des Zylinders. — Wird ein volles Glas Wasser mit einem Papiere bedeckt, so daß sich dasselbe dicht an die Ränder des Glases anschließt, so kann man wegen des auch nach oben gerichteten Luftdruckes das Glas umkehren, ohne daß das Wasser ausfließt. Nimmt man eine engere Röhre, so ist selbst das Papier nicht einmal nothwendig. — Aus dem geöffneten Zapfenloche eines Fasses fließt die Flüssigkeit nicht aus, wenn nicht auch das Spundloch geöffnet wird. — Der Zaubertrichter, ein Doppeltrichter. — Beim Ausgießen von Flüssigkeiten aus Flaschen wird der Abgang durch stoßweise oder kontinuirlich einströmende Luft ersetzt, wenn die Flüssigkeit ausgegossen wird und das Gleichgewicht vorhanden sein soll. — Bei Thee und Kaffeekannen mit gut anschließendem Deckel müssen in diesem Öffnungen vorhanden sein. — Füllung von Flaschen mittelst gut anschließender Trichter. — Zieht man aus einer im Munde gehaltenen und am runden Ende noch geschlossenen Federpose die Luft theilweise aus und schließt die Öffnung rasch mit der Zunge, so hält sie der äußere Luftdruck darauf fest. — Saugt man aus einer kleinen Röhre, während sie dicht auf der Oberfläche des Körpers aufsitzt, die Luft zum Theil heraus, so sitzt dieselbe auch fest und wenn dort eine kleine Verwundung angebracht worden, so fließt das Blut aus ihr länger, als unter anderen Umständen; Schröpfköpfe, künstliche Blutegel. — Statt des Aussaugens der Luft kann man sich auch der Verdünnung durch Wärme bedienen. — Füllung von Gefäßen mit sehr engen Öffnungen durch Erwärmung der inneren Luft und Kochen der theilweise eingedrungenen Flüssigkeit. — Das Gewicht unserer Arme und Beine wird zum großen Theile durch den Druck der Atmosphäre im Gleichgewichte gehalten, indem beim Beine z. B. der kugelförmige Kopf des Schenkelknochens luftdicht sich an die Höhlung der Pfanne des Beckens anschließt. Es bedarf deßhalb keiner Anstrengung, um beim Gehen das eben aufgehobene und oft nicht ganz leichte Bein zu tragen. Wird aber durch das Becken mitten in die Pfanne eine kleine Öffnung gebohrt, so fällt das Bein ab, was selbst nach Durchschneidung der Muskeln ohne dieses nicht der Fall gewesen wäre. — Besteigt

man hohe Berge, so befällt den Gehenden unter übrigens gleichen Umständen eine auffallend größere Mattigkeit, als es die Bewegung des Körpers mit sich bringt, weil die weniger dichten höheren Schichten der Atmosphäre auch einen geringeren Druck ausüben. — Lippen und Zahnfleisch bluten, Ohrenstechen.

b) Messung des atmosphärischen Druckes. Es entsteht nun aber die Frage, ob sich die Größe des Druckes der Atmosphäre nicht bestimmen läßt. Dies wird nur dadurch möglich sein, daß man diesen Druck zu einem einseitigen macht und ihn so auf einen beweglichen Körper, am besten auf eine in einer Röhre enthaltene Flüssigkeit wirken läßt. Hält man (Fig. 47.) eine an beiden Enden offene mäßig weite Röhre (a) mit einem ihrer Enden unter Wasser, so steigt es in der Röhre so hoch, als es im Gefäße steht, weil der Luftdruck in und außer dem Gefäße auf das Wasser gleich ist. Hat aber die Röhre (b) einen genau einpassenden Stempel, taucht man sie, während der Stempel am unteren Ende ist, mit diesem ins Wasser und zieht den Stempel in die Höhe, so folgt das Wasser der Bewegung des Stempels, weil sonst durch seine Hebung zwischen ihm und dem Wasser ein luftleerer Raum entstehen würde und dann auf das Wasser in der Röhre gar kein Druck statt fände, während der auf den äußeren Wasserspiegel derselbe geblieben ist. Die freie atmosphärische Luft wirkt also drückend auf den äußeren Wasserspiegel, dieser Druck pflanzt sich durch das Wasser fort und treibt es dorthin, wo gar kein Gegendruck oder ein geringerer statt findet, wofern noch etwas Luft zwischen dem Stempel und dem Wasser gewesen wäre. War keine Luft mehr dazwischen, so wirkt der volle Druck der Atmosphäre einseitig und treibt das Wasser so lange hinter dem sich aufwärts bewegenden Stempel, bis die Wassersaüle der Röhre über dem Wasserspiegel im Gefäße dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält. Bewegte sich dann der Stempel noch weiter, so müßte über der sich gleich bleibenden Wassersaüle ein luftleerer Raum entstehen, wie es wirklich bei einer etwa $32\frac{2}{3}$ Fuß hohen Wassersaüle geschieht, so daß das Wasser in Saugbrunnen nicht über dieses Maximum gehoben werden kann. (Brunnenmacher in Florenz).

Wendete man eine schwerere Flüssigkeit an, so würde die von ihr gebildete Saüle so vielmal niedriger, als die Wassersaüle sein, wie vielmal diese Flüssigkeit schwerer ist, als Wasser; bei Quecksilber ungefähr 14 mal.

Dieses läßt sich auf folgende Art zeigen Eine etwa 30 Zoll lange, an dem einen Ende luftdicht geschlossene Glasröhre wird mit Quecksilber gefüllt, dann das offene Ende mit dem Finger u dergl. geschlossen und während dessen diese Mündung unter Quecksilber in einem Gefäße gebracht. Zieht man nun bei senkrechter Stellung der Röhre den Finger weg, so fällt das Quecksilber in der Röhre nur gegen 2 Zoll, bleibt also auf etwa 28 Zoll ($\frac{1}{14} \cdot 32\frac{2}{3}$ Fuß) in der Röhre über dem Quecksilberspiegel des Gefäßes stehen, so daß der Atmosphärendruck einer Quecksilbersaüle von 28 Zoll das Gleichgewicht hält. (Torizellischer Versuch.)

Da die Atmosphäre eine Wassersaüle von fast 33 Fuß Höhe trägt und ein Kubikfuß Wasser 66 ℔. wiegt, so übt die Luft auf jeden Quadratfuß einen Druck von 33 . 66 ℔. = 2178 ℔. aus. Wird die ganze Oberfläche eines erwachsenen Menschen zu 15 Quadratfuß angenommen, so ist der auf ihn ausgeübte Gesammtdruck 15 . 2178 ℔. = 32670 ℔.. Diesen ungeheuren Druck empfinden wir aber deßhalb nicht, weil er durch den Gegendruck der in allen Theilen des Körpers befindlichen Luft von derselben Elastizität im Gleichgewichte gehalten wird. Einige Störung dieses Gleichgewichtes tritt ein, wenn man sich

in einer Taucherglocke schnell tief unter das Wasser begiebt oder schnell sich zu großen Höhen erhebt, wie bei einer Luftschifffahrt. Folgen davon.

Das Barometer. Die eigens für die genaue Messung des Luftdruckes bestimmten Instrumente nennt man Barometer (Luft-Schweremesser). Sollen sie dem Zwecke gut entsprechen, so muß das Quecksilber sehr rein sein, weil das unreine am Glase haftet und eine verschiedene Dichtigkeit hat; der Raum über dem Quecksilber, so wie dieses selbst und die inneren Wände der Röhre dürfen durchaus keine Luft enthalten (Auskochen); die Höhe der durch den Luftdruck getragenen Quecksilbersaüle muß sich sehr genau (bis auf 0,01 einer Linie) messen lassen (mittelst einer Vorrichtung zum Einstellen, Mikroskopen und des Nonius) und endlich muß die Weite der Röhre überall genau dieselbe sein (Kalibrirung).

Unter den verschieden konstruirten Barometern erwähnen wir nur das Heberbarometer, weil die anderen eine geringe Brauchbarkeit besitzen. Eine oben geschlossene, gegen 30 Zoll lange und einige Linien im Durchmesser haltende Glasröhre hat an einer unten angebrachten Biegung noch einen kürzeren, etwa 10 Zoll langen, offenen Schenkel Statt letzteren ganz geöffnet zu lassen, kann er auch blos eine kleine Seitenöffnung am oberen Ende besitzen und entweder parallel neben ihm oder senkrecht unter einer schwachen Biegung des längeren hinlaufen. Das nach der obigen Darstellung eingefüllte Quecksilber erfüllt auch einen Theil des kürzeren Schenkels. Diese Quecksilbersaüle im kürzeren Schenkel hält ohne Rücksicht auf Luftdruck oder bei gleichem Luftdrucke eine eben so hohe Saüle im anderen Schenkel im Gleichgewichte Es wird also bei dieser Vorrichtung nur der Theil der Saüle des längeren Schenkels von dem Luftdrucke getragen, welcher sich über dem Spiegel des kürzeren befindet. Man muß entweder die Röhre an einem festen Maßstabe oder den Maßstab an der festen Röhre beweglich machen, um die Quecksilberkuppe des kürzeren Schenkels auf den Nullpunkt der Skale einstellen und dann ablesen zu können, wie hoch darüber die Quecksilberkuppe des längeren Schenkels steht; diese Höhe heißt die Barometerhöhe, der Barometerstand.

Gefäßbarometer, das Fortinsche, das von Gay-Lussac, Reisebarometer von Bunten.

c) Veränderlichkeit der Barometerhöhe. Die Beobachtungen eines bestimmten Instrumentes an einem bestimmten Orte zeigen, daß die Barometerhöhe fortwährenden Veränderungen, Variationen, ausgesetzt ist, die entweder regelmäßig zu bestimmten Zeiten eintreten und dann an einem bestimmten Orte bestimmte Gränzen nicht überschreiten oder zufällig sind und im Voraus nicht angegeben werden können. Daraus folgt, daß der Luftdruck öfteren meist nur scheinbar unregelmäßigen Veränderungen unterworfen ist. Denn im Winter ist er für Orte mit kontinentalem Klima etwas größer, als im Sommer, und die Schwankungen in jenem etwas bedeutender, als in diesem, und um die Zeit der größten Sommerhitze erreicht der Luftdruck sein Minimum; für Orte mit Seeklima hat man aber jährlich zwei Maxima und zwei Minima; immer aber finden täglich zwei Maxima, nämlich gegen 10 Uhr Morgens und Abends, und zwei Minima, nämlich 4 Uhr früh und nachmittags statt, die am Äquator besonders deutlich hervortreten, wenn auch der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande noch nicht eine Linie beträgt. Der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande überhaupt nimmt aber mit der geographischen Breite zu, so daß er in unseren Breiten gegen zwei pariser Zoll (von 27″ — 29″) beträgt und weiter nach Norden zu

noch größer wird. Die täglichen Maxima und Minima sind aber hier erst, weil sich unregelmäßige Veränderungen einmischen, durch eine größere Reihe von Beobachtungen ausfindig zu machen. Aber bei zunehmender Erhebung über dem Meeresspiegel werden die periodischen Schwankungen des Barometers geringer, weil die drückende Luftsaüle an Höhe und Dichtigkeit abnimmt, so daß sich die täglichen Schwankungen immer mehr und mehr verwischen müssen und in höheren Schichten nur noch ein jährliches Maximum und Minimum hervortreten kann. Der Luftdruck an einem bestimmten Orte ändert sich, wie die Erfahrungen zeigen, nach den Veränderungen der Temperatur, nach der Menge der in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe und nach den Luftströmungen oder Winden. (Wächst bei N= und NO=Winden, nimmt ab bei S= und SW=Winden). Der genauere Zusammenhang mit diesen Erscheinungen gehört in die betreffenden Abschnitte.

Wäre die Luft unelastisch, so würde sie überall gleiche Dichtigkeit besitzen, die Barometerhöhe würde bei gleichen Erhebungen über den Horizont eines bestimmten Ortes um gleich viel sich vermindern. Aber wegen ihrer Elastizität muß eine Luftsaüle von gewisser Höhe in den unteren Regionen schwerer sein, als eine von gleichen Dimensionen in einer höheren Region. Daher wird man sich, je höher man in der Atmosphäre steigt, auch um so mehr in ihr senkrecht erheben müssen, damit man die Barometerhöhe um dieselbe Größe fallen sieht. Es entsteht nun die Frage: **in welchem Verhältnisse nimmt die Dichtigkeit der Luft, also auch ihre Schwere und der daraus folgende Druck ab.**

C. Mariotte's Gesetz.

Nimmt man eine genau kalibrirte zylindrische Röhre (Fig. 68.), deren kürzerer Schenkel geschlossen, deren längerer aber offen ist und gießt man anfänglich nur wenig Quecksilber ein, so kann man es durch Herauslassen einiger Luftblasen leicht dahin bringen, daß das Quecksilber in beiden Schenkeln in gleicher Höhe (ca) steht, also die eingeschlossene Luftsaüle ae die Spannung der freien auf c wirkenden besitzt. Gießt man nun, ohne aus ae Luft zu lassen, in den längeren Schenkel so viel Quecksilber zu, daß das Quecksilber im kürzeren um $ab = \frac{1}{2} . ae$ steigt, so findet sich bei der Messung der Quecksilbersaüle über db, daß sie der grade statt findenden Barometerhöhe genau gleich ist. Die in dem Raume ae enthaltene Luft war nur dem Drucke der Atmosphäre ausgesetzt (oder hatte die Expansivkraft, als wäre sie ihm ausgesetzt gewesen), die in be oder der Hälfte dieses Raumes enthaltene trägt aber nicht blos den Druck einer Atmosphäre, sondern auch noch den der Quecksilbersaüle, die ebenfalls dem Atmosphärendrucke entspricht; also be wird von dem doppelten Drucke der Atmosphäre gepreßt. Setzt man das Eingießen des Quecksilbers fort, so findet man, daß für den Druck von 3, 4, 5 Atmosphären die eingeschlossene Luft auf $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ ihres früheren Volumens zusammen gepreßt wird. Man hat dieses bis zu einem Drucke von 27 Atmosphären fortgesetzt und richtig gefunden (Arago und Dulong). Es gilt aber auch für einen Druck, welcher den einer Atmosphäre nicht erreicht.

Nimmt man nämlich eine etwas weite unten geschlossene und oben

in eine Halbkugel oder einen Zylinder sich erweiternde Glasröhre (Fig. 69.), füllt sie und einen Theil des oberen Behälters mit Quecksilber, eben so auch eine grade Barometerröhre bis auf etwa 2 Zoll, hält dann den Finger auf deren Öffnung, kehrt die Röhre um und hält die Mündung unter den Quecksilberspiegel des obigen Gefäßes, so fällt das Quecksilber nach Entfernung des Fingers um mehr, als beim Barometer, indem die über dem Quecksilber enthaltene jetzt verdünnte Luft einen Theil des atmosphärischen Druckes aufhebt. Drückt man aber die Röhre abwärts ins Gefäß so weit, bis die Quecksilberkuppe in der Röhre mit dem Quecksilberspiegel des Gefäßes zusammenfällt, so hat die eingeschlossene Luft die Dichtigkeit der äußeren und nimmt wieder einen Raum von 2 Zollen ein. Hebt man nun die Röhre, so vergrößert sich das Volumen der eingeschlossenen Luft, aber das Quecksilber steigt auch wieder über den Spiegel im Gefäße so zwar, daß, wenn die Luft 4, 6, 8 Zoll einnimmt, oder ihr Volumen 2, 3, 4 mal größer wird, die Quecksilbersaüle $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ von dem zu derselben Zeit beobachteten Barometerstande beträgt. Aus diesen Beobachtungen ergiebt sich das Gesetz: Das Volumen der Gase verhält sich umgekehrt, wie der Druck, welchem sie ausgesetzt sind und da sich bei gleichem Gewichte die Dichtigkeiten, wie umgekehrt die Volumina verhalten; so ist auch die Dichtigkeit der Gase dem Drucke proportional, welchem sie ausgesetzt sind.

$$\left.\begin{array}{l} V : v = dr : Dr \\ V : v = di : Di \end{array}\right\} di : Di = dr : Dr.$$

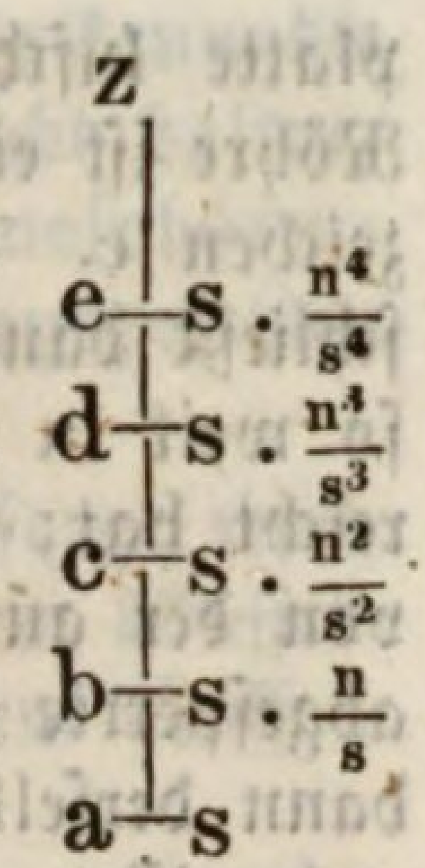
Für die Dichtigkeiten lassen sich auch die Spannkräfte setzen, da diese mit jenen in gradem Verhältnisse wachsen. Es ist höchst wahrscheinlich, daß dieses Gesetz nur innerhalb gewisser Gränzen richtig ist; denn einerseits werden bei einem sehr starken Drucke viele Gase, vielleicht alle, tropfbar flüssig, so daß Vermehrung des Druckes die Dichtigkeit nicht mehr vermehren kann, und andererseits muß bei hinreichender Verdünnung die Expansivkraft der Gase durch die Schwere aufgehoben werden, so daß eine fortgesetzte Verminderung des Druckes keine weitere Ausdehnung des Gases zur Folge haben kann.

D. Anwendung des mariotteschen Gesetzes.

a) Dichtigkeit der Luft. Diese Betrachtung enthält zunächst das Mittel die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft zu bestimmen. Die Barometerhöhen verhalten sich nämlich wie die drückenden Kräfte und diese wie die Dichtigkeiten; also auch die Barometerhöhen wie die Dichtigkeiten (H : h = Di : di). Ist nun die Barometerhöhe am Erdboden 28″ = 336‴ und in einem senkrechten Abstande von 73′ darüber nur 335‴, so trägt eine Luftsaüle von 73 Fuß eine Quecksilbersaüle von nur 1 Linie; es verhält sich also die Dichtigkeit der Luft zu der des Quecksilbers wie 1‴ : 73′ = 1 : 10512 oder die Dichtigkeit der Luft ist $\frac{1}{10512}$ = 0,000095 von der des Quecksilbers, und da Quecksilber 13,6 Mal schwerer als Wasser ist (13,598), so ist die Dichtigkeit der Luft $\frac{13,6}{10512}$ = 0,001294 von der des Wassers, oder sie ist 772,8 Mal weniger dicht, als Wasser. Dies ist ihre Dichtigkeit nur am Boden bei 28″ Barometerstand.

Das Dasymeter, bestehend aus einer empfindlichen Wage mit einer sehr dünn geblasenen Glaskugel und einem kleinen metallenen Gegengewichte.

b) Höhenmessung. Die obigen Betrachtungen sind ferner noch



geeignet, um durch die Barometerhöhe anzugeben, welches die Höhe eines Ortes über einem anderen ist. Bedeuten auf der Linie az die gleichen Theile ab, bc, cd u. s. w. immer einen Raum von 73′ $= r$ und denkt man sich, wie es wirklich der Fall ist, die Dichtigkeit in jeder nächst oberen Schicht zwar geringer, aber in derselben Schicht als gleichbleibend, was bei niedrigen Schichten, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, wohl geschehen kann, so lassen sich die Barometerstände für die einzelnen Standpunkte bestimmen. Ist bei a der Barometerstand $336 = s$, bei b aber $336 - 1 = s - 1 = 335 = n = s \cdot \frac{n}{s}$, so werden sich die Dichtigkeiten der Luftschichten ab und bc wie die Barometerstände bei a aund b, also wie $s : n$ verhalten und die Dichtigkeit der Schicht bc ist daher nur $\frac{n}{s}$ von der Dichtigkeit der Schicht ab. Daraus folgt, daß der Barometerstand, wenn man von b bis c steigt, nicht um 1 Linie, sondern nur um $\frac{n}{s}$ Linien fällt und daß er in c selbst $s \cdot \frac{n}{s} - \frac{n}{s} = (s - 1)\frac{n}{s} = n \cdot \frac{n}{s} = s \cdot (\frac{n}{s})^2$ ist. Sodann verhalten sich die Dichtigkeiten der Luftschichten bc und cd wie die Barometerstände bei b und c, oder wie $s \cdot \frac{n}{s} : s(\frac{n}{s})^2$, woraus folgt, daß die Schicht cd auch $\frac{n}{s}$ Mal leichter ist, als die vorhergehende. Da die Schicht bc eine Quecksilbersaüle von nur $\frac{n}{s}$ Linien tragen konnte, so trägt die Schicht cd sogar nur eine von $\frac{n}{s} \cdot \frac{n}{s} = (\frac{n}{s})^2$ Linien; erhebt man sich also bis d, so fällt die Barometerhöhe um $(\frac{n}{s})^2$, kann also in d selbst nur noch $s(\frac{n}{s})^2 - (\frac{n}{s})^2 = (s - 1)(\frac{n}{s})^2 = n \cdot (\frac{n}{s})^2 = s(\frac{n}{s})^3$ sein. Eben so wird in e die Barometerhöhe $s(\frac{n}{s})^4$ sein, und wenn man sich um $x \cdot ab = x \cdot r$ über a erhoben hat, so ist dort der Barometerstand $B = s(\frac{n}{s})^x$. Aus dieser Gleichung, worin B die Barometerhöhe in einem höheren Standpunkte ist, läßt sich x, also auch $x \cdot r$, d. i. die Erhebung über dem Punkte, in welchem die Barometerhöhe s war, finden; nämlich $x = \frac{\log B - \log s}{\log n - \log s}$.

Wenn die senkrechten Entfernungen nach oben eine arithmetische Progression bilden, so stehen die dazu gehörigen Barometerstände in einer geometrischen. Sollen solche Beobachtungen zu genauen Resultaten führen, so müssen sie entweder mit sorgfältig verglichenen (übereinstimmenden) Instrumenten gleichzeitig angestellt werden oder man muß aus einer großen Reihe von Beobachtungen den mittleren Barometerstand beider Orte, die dann auch in horizontaler Richtung weit von einander entlegen sein können, wissen. Dabei ist auf die Temperatur des Quecksilbers, der Skale, der Luft, auf die Feuchtigkeit und selbst auf die sphäroidische Gestalt der Erde einiges Gewicht zu legen, was in den betreffenden Untersuchungen seine Erledigung findet.

c) Volumenbestimmung pulverisirter Körper. Von dem mariotteschen Gesetze läßt sich endlich noch eine Anwendung zur Bestimmung des Volumens pulverisirter Körper machen (Volumenometer). Eine offene Barometerröhre erweitert sich nach oben zu einem kleinen Gefäße mit einem gut abgeschliffenen Rande (Fig. 70.), damit es sich durch eine Glas-

platte luftdicht verschließen läßt; aber zwischen diesem Gefäße und der Röhre ist ein nur sehr enger und kurzer Verbindungskanal mit einem Merkzeichen c. Taucht man nun diese Vorrichtung bis c ins Quecksilber, verschließt dann das Gefäß mit der Glasplatte luftdicht und zieht die Röhre so weit in die Höhe, bis das Quecksilber den halben Barometerstand erreicht hat; so hat die eingeschlossene Luft nur noch die halbe Dichtigkeit von der äußeren und der kurze Verbindungskanal halbirt bei c die ganze abgesperrte Luftmenge; ca ist also dem Raume des Gefäßes gleich. Wenn dann derselbe Versuch wiederholt wird, nachdem man in das Gefäß einen pulverisirten Körper gebracht hat, so darf die Röhre nicht so hoch, als im vorigen Falle, etwa bis b gehoben werden, um den halben Barometerstand zu erlangen; aber die eingeschlossene Luft ist ebenfalls halb so dicht und der Luftraum cb gleich dem der noch im Gefäße enthaltenen Luft, also der Raum ab gleich dem Volumen des in jenem befindlichen Körpers.

E. Erscheinungen an Apparaten als Folge des atmosphärischen Druckes.

Auf dem Drucke der Atmosphäre beruhen sehr viele Erscheinungen und es ist derselbe zur Erfindung höchst wichtiger Instrumente benutzt worden.

a) Saugen bei Ansatzröhren. Fließt durch zylindrische Ansatzröhren Wasser aus Gefäßen, so zieht sich der Strahl in der Röhre bekanntlich zusammen und hat an dieser Stelle die größte Geschwindigkeit; dessen ungeachtet fließt die Röhre voll aus und es müßte, wenn beim Ausflusse dieselbe Geschwindigkeit stattfände, ein Zerreißen der Wassertheile und die Bildung eines leeren Raumes eintreten. Dieses verhindert der Druck der äußeren Luft, welcher den Ausfluß verzögert. Daß aber die Neigung zur Bildung eines leeren Raumes vorhanden ist, läßt sich direkt dadurch beweisen, daß man an die Ausflußröhre entweder blos eine Seitenöffnung macht, durch welche Luft eindringt und Unterbrechungen des Strahles bewirkt, oder daß man (Fig. 71.) in eine solche Seitenöffnung eine nach unten gebogene Röhre passet, deren unteres Ende in Wasser mündet, welches dann durch sie aufgesaugt wird.

b) Der Stechheber. Ein zylindrisches oder kugelförmiges kleines Gefäß (Fig. 72.), hat an dem einen Ende ein Mundstück, um die Luft auszusaugen, am anderen ein enges Rohr, um es durch eine kleine Öffnung eines Behälters mit Flüssigkeit zu stecken und diese heraus zu schaffen. Wie und warum geschieht dies?

Die Pipette ist dem Stechheber ähnlich; ihr Gebrauch.

c) Der würtembergische Heber. Nimmt man eine gekrümmte Röhre mit gleich langen offenen Schenkeln (Fig. 73.) und füllt sie mit Wasser, so wird dasselbe nach dem vorsichtigen Umdrehen der Röhren nicht ausfließen, theils weil der Druck an den Mündungen m und n von gleich hohen Wassersaülen bewirkt wird, also gleich ist, theils weil der bei m und n gleiche Druck der atmosphärischen Luft ihm das Gleichgewicht hält, so lange die Höhe der Wassersaülen mo und no das bekannte Maximum nur nicht übersteigt. Sind aber die gefüllten Schenkel ungleich lang (2), so würden zwar die gleichen Wassersaülen mo und no darin auch einander das Gleichgewicht halten, aber es wirkt in dem längeren Schenkel

noch die Wassersaüle ns nach unten drückend, und diesem Drucke kann die leichtere eben so lange Luftsaüle nach oben nicht das Gleichgewicht halten, folglich fließt das Wasser bei s aus, muß aber wegen des Atmosphärendruckes bei m nachfließen, indem bei o innerhalb der hier vorausgesetzten Gränzen kein leerer Raum entstehen kann.

Die Röhre entleert sich, wenn nicht bei m für Zufluß gesorgt wird. Befindet sich also die Mündung m in einem Gefäße (3) unter dem Wasserspiegel cc, so fließt aus s so lange Wasser, als m noch unter dem Wasserspiegel und s unter m ist.

Nimmt man den nach unten wirkenden Wasserdruck bei m gleich a, bei s gleich $b = a + r$, den nach oben wirkenden Luftdruck bei m gleich α, bei s gleich $\beta = \alpha + \rho$ an; so ist der aufwärts gerichtete Erfolg

bei m gleich $\alpha - a$,

bei s gleich $\beta - b = (\alpha + \rho) - (a + r) = (\alpha - a) + (\rho - r)$, also ist der Druck bei s um $\rho - r$ größer, als der bei m. Aber weil $\rho < r$ ist, so geht die Bewegung nicht aufwärts, sondern abwärts.

Wäre der außere Schenkel kürzer, als der innere, so würde das Wasser nur bis zum Niveau seiner Mündung ausfließen; sollte das Gefäß ganz entleert werden, so müßte der innere der kürzere sein und bis an den Boden reichen. Hört der Ausfluß auf, so bleibt wegen der Kapillarattraktion an den beiden Mündungen bei engeren Röhren noch etwas Flüssigkeit. Wie hoch darf der höchste Punkt des Hebers über dem Niveau der Flüssigkeit höchstens liegen?

Die Füllung des Hebers geschicht a) durch Aussaugen der Luft an der Mündung s, welches wie lange fortgesetzt werden muß? b) durch Auffüllen mittelst einer an der Krümmung bei o angebrachten verschließbaren Öffnung, während s selbst auch zu schließen ist; c) durch besondere Saugröhren (Fig. 74.) oder auch durch Röhren zum Hineinblasen. Giftheber.

Die Hebervorrichtung kann versteckt angebracht sein, wie bei dem Becher des Tantalus oder dem Verirbecher (Fig. 75.). Vorrichtungen im Großen, wie beim Kanal von Languedoc. Der zirknitzer See in Krain; manche Brunnen, welche ihr Wasser manchmal plötzlich verlieren, — Hungerbrunnen. Wasser über (höchstens wie hohe?) Anhöhen zu leiten. Die sogenannte fraterna caritas. Bei Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewicht kann jede, auch die tiefer liegende, allein abgelassen werden. — Heber-Springbrunnen.

d) **Der intermittirende Brunnen.** (Fig. 76.). (Die magische Gießkanne). Ein nach der Mitte tieferes und auf einem Gefäße A befindliches Wasserbecken bb habe in der Mitte eine kleine Öffnung r, am Rande eine andere s, über der Mitte befinde sich eine an beiden Seiten offene Röhre ac, die unten bei c einen Ausschnitt besitzt und oben an der Decke eines Wasserbehälters dd über dem Niveau nn mündet; dieser Behälter selbst besitzt am Boden zwei oder mehre enge offene nach unten zu mündende Röhrchen. Aus letzteren strömt das Wasser nur mit Unterbrechungen. Warum? Wie geschieht die Füllung?

e) **Die Handspritze.** In eine zylindrische Röhre, die sich in eine engere Ausgußröhre endigt, paßt wasserdicht ein Kolben an einer Stange. Warum springt bei vermehrtem Drucke auf den Kolben das Wasser aus einer bestimmten Öffnung und bei einem bestimmten Drucke aus der kleineren Öffnung weiter?

f) **Die Saug-Hebepumpe** (Fig. 77.). In einem Zylinder aa', Stiefel genannt, welcher am Boden ein nach oben sich öffnendes Ventil v

hat, befindet sich ein luftdicht anschließender Kolben kk ebenfalls mit einem nur nach oben sich öffnenden Ventile v'; der Kolben läßt sich durch eine Stange ss, welche sich meist an dem kürzeren Arme eines Hebels befindet, auf und abwärts bewegen. Befindet sich das untere Ende des Stiefels oder die daran befindliche Saugröhre b im Wasser und man zieht den Kolben aufwärts, so schließt sich v' und durch das geöffnete v tritt Wasser in den Raum a; drückt man dann den Kolben abwärts, so schließt sich v und durch das geöffnete v' entweicht die anfänglich etwa vorhandene Luft, später das Wasser, welches aus dem Raume a' über dem Kolben entweder durch eine Seitenöffnung c fortfließen kann, wenn es durch wiederholte Züge hinreichend weit gehoben worden ist — oder in einem seitwärts angebrachten Steigrohre c', welches ein nach oben sich öffnendes Ventil hat, höher gehoben werden kann. — Luftdichter Gang der Kolbenstange in letzterem Falle.

Ist hinreichend Kraft vorhanden, so kann das Wasser über dem Kolben zu bedeutenden Höhen gehoben werden. Wie hoch unter kk? Gründe für alle diese Vorgänge.

g) Die Saug-Druckpumpe (Fig. 78.) unterscheidet sich von der Saug-Hebepumpe darin, daß der Kolben kein Ventil besitzt, dafür aber der Stiefel am Boden ein Seitenventil v' hat, welches das von dem Kolben aus a herabgedrückte Wasser in ein zur Seite angebrachtes Steigerohr r läßt, worin es zu bedeutenden Höhen (z. B. 500 Fuß) gepreßt werden kann.

h) Die hydraulische Presse (v. Bramah) besteht aus einem Saug- und Druckwerke, welches durch einen Hebel bewegt wird und einem Kolben in einem weiteren kommunizirenden Zylinder, welcher den Druck empfängt und ihn auf den zu pressenden Körper überträgt.

Ist d der Durchmesser des Kolbens im Druckwerke, D der im größeren Zylinder, a der kürzere, A der längere Hebelarm, so wirkt die am Ende des letzteren angebrachte Kraft k auf den größeren Kolben mit der Stärke $\frac{AD^2}{ad^2} \cdot k$. Durch diese Presse kann man also sehr bedeutende Erfolge erreichen.

i) Niveauhalter. Wenn ein mit einer Flüssigkeit gefülltes Gefäß a (Fig. 79.), woran eine bei c offene Röhre b sich befindet, so umgestürzt wird, daß die Mündung unter das Niveau der Flüssigkeit in einem zweiten Gefäße d reicht; so fließt bei c so lange nichts aus, als nicht durch den geringeren Abfluß aus dem Gefäße d die größere Mündung c blos gelegt wird und Luftblasen aufsteigen können. Dadurch wird bewirkt, daß das Niveau nie unter c fallen kann.

Erklärung: Vorrichtung bei Öllampen.

k) Mariottes Gefäß. Luftdicht durch den Kork cc (Fig. 80.) einer Flasche mit einem in der Nähe des Bodens befindlichen Seitenrohre d gehe eine verschiebbare oben und unten offene Röhre rs. Ist d geschlossen und das Gefäß bis nn gefüllt, so steht das Wasser in der Röhre auch so hoch; öffnet man d während s unterhalb d sich befindet, so fällt das Wasser in rs rasch bis a, welches mit d in demselben Niveau liegt und dann hört der Ausfluß auf, wenn durch d keine Luftblasen ins Gefäß treten können. Zieht man aber die Röhre aufwärts etwa bis b, so be-

ginnt der Ausfluß mit einer der Druckhöhe ba entsprechenden und gleich bleibenden Geschwindigkeit, während aus der Mündung bei b fortwährend Luftblasen in den Raum über nn treten. Ist das Wasser bis b gefallen, so nimmt die Ausflußgeschwindigkeit fortwährend ab. — Erklärung.

Statt der Seitenöffnung d läßt sich ein durch den Kork luftdicht gehender Heber anbringen und das Rohr rs oben seitwärts biegen, um durch Einblasen von Luft den Ausfluß zu bewirken, durch Aussaugen zu verhindern.

F. Druck eingeschlossener Gase.

a) Messung des Druckes. Oft ist es nothwendig, den Druck, welchen eingeschlossene Gase und Dämpfe ausüben, zu bestimmen, um Vorsichtsmaßregeln zur Vermeidung von Unglücksfällen bei Maschinen und chemischen Arbeiten zu treffen. Zu diesen Vorrichtungen gehören:

1) die Manometer. Bringt man das offene Ende eines Barometers, dessen geschlossener Schenkel eine bedeutendere Länge hat, als beim Barometer für die Messung des Druckes der Atmosphäre in einen gaserfüllten abgesperrten Raum; so kann man damit die Spannung des eingeschlossenen Gases nach dem Verhältnisse des äußeren Luftdruckes bestimmen. Wäre der lange Schenkel offen, so müßte man den auf ihn wirkenden Atmosphärendruck in Abrechnung bringen. Weil aber für größere Spannungen der lange Schenkel allzulang genommen werden müßte, wendet man lieber das Prinzip des mariotteschen Gesetzes an, indem man die Gase wirken läßt auf die durch Quecksilber abgesperrte Luft in einem kurzen Schenkel von etwa 10 Zoll Länge, welcher angemessen eingetheilt ist, um den Atmosphärendruck als Maßeinheit zu erhalten.

2) Windmesser. Um den Druck der Luft in verschiedenen Theilen eines Gebläsapparates zu bestimmen, kann man besondere Windmesser anwenden. Durch den Boden eines Metallkastens AA (Fig. 81.) geht luftdicht eine Röhre aa' bis fast an die Decke und läßt sich bei a auf einen Gebläsapparat schrauben; mit dem Kasten AA kommunizirt ferner die Röhre bb, welche von o an nach oben eingetheilt ist. AA wird nun so weit mit Wasser gefüllt, daß es in bb grade am Nullpunkte steht; wird dann durch aa' Luft von einer größeren Spannkraft geleitet, so steigt das Wasser in bb um so höher, je dichter die Luft ist. Die Veränderlichkeit des Niveaus in AA hat bei einer größeren Weite keinen bedeutenden Einfluß auf die Messung des Druckes.

3) Sicherheitsröhren. Reicht das untere Ende a einer Sicherheitsröhre (Fig. 82.) in den abgesperrten Raum eines Gasentwickelungs-Apparates, so wird dieses Gas dann die Spannung der atmosphärischen Luft haben und ihr das Gleichgewicht halten, wenn die Sperrungsflüssigkeit in b und c gleich hoch steht. Was im Gegentheile geschieht, ist klar.

Andere Formen: Durch sie werden auch Flüssigkeiten in Gasentwickelungs-Flaschen gebracht, ohne diese zu öffnen.

4) Sicherheitsventile. Sie sind entweder Druck- oder Hebelventile (Fig. 83.). In eine kegelförmige Öffnung c des Gasapparates paßt genau ein massiver Metallkegel a, welcher in dem einen Falle (α) unmittelbar mit Gewichten belastet ist, in dem anderen Falle (β) befinden sich die Gewichte an dem längeren Arme eines Hebels. Kennt man die Belastung des Ventils und die Größe seiner unteren mit dem Gase in Be-

rührung stehenden Fläche c, so kann man die Spannung des Gases in dem Augenblicke, in welchem es das Ventil zu heben im Stande ist, berechnen. Man hat es also in seiner Gewalt zu verhindern, daß die Spannkraft eines abgesperrten Gases ein gewisses Maximum überschreite.

Solche Ventile können auch für die Messung des Druckes von tropfbaren Flüssigkeiten angewendet werden und dienen auch dazu, um bei Maschinen die Kessel, Zylinder und Leitungsröhren zu prüfen. Bei Äolipilen ist gewöhnlich ein durch eine Metallfeder angedrücktes Ventil. — Kugelventile, Scheibenventile, Klappenventile, Blasenventile.

b) Wirkung des Druckes auf absperrende Flüssigkeiten. Wenn eingeschlossene und nur durch Flüssigkeiten abgesperrte Gase eine größere Spannkraft besitzen, als die freie atmosphärische Luft, so stellen sie das Gleichgewicht mit dieser durch Bewegung der Flüssigkeit dar. Hierher gehören:

1) Der Heronsball. (Fig. 84.) Luftdicht durch den Hals eines zum Theil mit Wasser gefüllten Gefäßes geht bis dicht an den Boden eine Röhre, deren obere Mündung ganz eng ist. Ist in aa die Luft dichter, als außerhalb des Gefäßes, so springt aus c ein Wasserstrahl.

Die Luft wird in aa durch Hineinblasen (auch Pumpen) dichter, oder sie ist dichter, wenn man die äußere umgebende Luft zu verdünnen im Stande ist. Wie füllt man das Gefäß, wenn sich die Röhre nicht abschrauben oder nehmen läßt? — Spritzflaschen. Der Lichterbrunnen ist ein Heronsball, welcher mit einem Luftbehälter in Verbindung steht, dessen Luft durch Lichtflammen erwärmt wird.

2) Der Heronsbrunnen. (Fig. 85.) Diese Vorrichtung besteht aus zwei Gefäßen a, c und drei Röhren bb, ee und d; bb geht durch die Decke des oberen Gefäßes bis dicht an den Boden des unteren, ee von der Decke des unteren bis nahe an die Decke des oberen, die Sprungröhre d geht durch die Decke des oberen bis dicht an den Boden desselben. Das obere Gefäß a wird theilweise mit Wasser gefüllt, dann füllt man durch bb das untere c zum Theil, während d geschlossen ist. Bei der Eröffnung des d springt ein Wasserstrahl aus, dessen Höhe nach und nach abnimmt. Warum?

3) Das Wasserstoff-Feuerzeug. (Fig. 86.) Das Gefäß aa enthält verdünnte Schwefelsäure, von der Decke aus geht eine Glasglocke ee, in deren Mitte an einem Drahte ein Zinkstück o anfänglich bis in die Schwefelsäure reicht. Dadurch entwickelt sich Wasserstoffgas, welches durch seine Spannung die verdünnte Säure in cc so weit niederdrückt, bis das Zinkstück frei liegt und durch eine an der Decke der Glocke angebrachte, mit einem Hahn b verschließbare, sehr enge Röhre in einem Strome auf das in der benachbarten Kapsel d befindliche Platinschwämmchen geleitet werden kann.

4) Feuerspritzen mit Windkessel. Eine Saug-Druckpumpe oder zwei treiben das Wasser in einen Windkessel bb (Fig. 87.), durch welchen luftdicht bis an den Boden die Spritzröhre rr geht, die Kolbenstangen s, s' werden durch einen Hebel hh auf- und abwärts bewegt, so daß bei jeder Bewegung Wasser in den Kessel gepreßt und die Luft in dem Raume aa fortwährend zusammen gedrückt wird, wodurch man einen ununterbrochenen Wasserstrahl erhält. Bei bloßen Druckwerken ist der Strahl unter-

brochen. An die Mündung der Ausgußröhre wird ein sogenannter Schwanenhals oder ein wasserdichter Schlauch mit Sprungröhre geschraubt.

5) Bei dem hydraulischen Widder wird Wasser bei seiner Bewegung stoßweise auch in einen Windkessel getrieben, die Luft darin verdichtet und so eine Kraft erhalten, welche angewendet wird, um das Wasser über die Druckhöhe zu treiben.

6) Auch im kartesianischen Taucher, der Windbüchse, dem Blaserohre, der Bolzenbüchse und sog. Knallbüchse, zeigt sich die Wirkung des Druckes abgesperrter Luft.

G. Luftpumpen

Endlich sind noch diejenigen Instrumente zu erwähnen, deren besonderer Zweck es ist, die Luft zu verdichten oder zu verdünnen.

a) Die Kompressionspumpe (Fig. 88.) besteht aus einer zylindrischen Röhre s, welche am Boden ein nach außen sich öffnendes Ventil v und gegen das obere Ende eine kleine Seitenöffnung o besitzt. In diesem Stiefel ist ein luftdicht anschließender Kolben, welcher, wenn die Seitenöffnung nicht angebracht wäre, ein nach unten zu sich öffnendes Ventil haben müßte. Außerdem ist ein Rezipient a mit dem unteren Ende des Stiefels in Verbindung, welcher sich durch einen Hahn h oder ein nach innen sich öffnendes Ventil absperren und abschrauben läßt.

Wie und warum geschieht die Verdichtung? Barometerprobe mit geschlossenem längeren Schenkel. — Manometer. Füllung der Windbüchsen.

b) Die Luftpumpe im engeren Sinne, Verdünnungspumpe (Fig. 89.), hat im Wesentlichen dieselben Bestandtheile, nur daß die Ventile nach der entgegen gesetzten Seite sich öffnen. Geht der Kolben aufwärts, so schließt sich sein Ventil v', das Bodenventil v öffnet sich, die Luft im Rezipienten a erfüllt auch den Raum s des Stiefels unter dem Kolben, ist also in a dünner geworden; geht aber der Kolben abwärts, so schließt sich v und v' öffnet sich, um die Luft aus s entweichen zu lassen.

Bei der Kompressionspumpe muß der Rezipient fest geschraubt sein; bei der Luftpumpe kann es eine auf einem ebenen Teller stehende und gut anliegende Glocke sein; warum? Verschiedene Arten von Ventilen und Hähnen (Babinet, Graßmann). Verschiedene Einrichtungen an Luftpumpen. Zweistieflige mit Selbststeurung. Der sog. schädliche Raum; ihn zu vermeiden. Die Hahnluftpumpe kann auch zum Verdichten angewendet werden.

Aus der Größe des Raumverhältnisses zwischen dem Stiefel s und Rezipienten nebst Verbindungsröhre a und aus der Menge der Kolbenzüge läßt sich der Grad der Verdünnung berechnen; durch die Barometerprobe unmittelbar beobachten.

Ist $s = a$, so ist die Verdünnung nach 1, 2, 3, 4, 5 Kolbenzügen $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}$;
⸗ $s = \frac{a}{2}$, ⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗ $\frac{2}{3}, \frac{4}{9}, \frac{8}{27}, \frac{16}{81}, \frac{32}{243}$;
⸗ $s = 2a$, ⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗ ⸗ $\frac{1}{3}, \frac{1}{9}, \frac{1}{27}, \frac{1}{81}, \frac{1}{243}$
von der ursprünglichen Dichtigkeit. Nach n Kolbenzügen ist die Verdünnung $\left(\frac{a}{a+s}\right)^n$.

Zu den in die früheren Abschnitte gehörigen Erscheinungen, welche sich durch die Luftpumpe darstellen lassen, gehören folgende:

1) Der Rezipient haftet nach einigen Kolbenzügen, selbst nach einem, fest auf dem Teller.

2) Bei einem unten offenen und oben mit einer Blase zugebundenen oder

mit einer dünnen Glasplatte bedeckten Zylinder wird die Blase oder das Glas zersprengt, wenn man den Zylinder auf den Teller gesetzt und die Luft in ihm hinreichend verdünnt hat.

3) Wenn aus zwei luftdicht an einander gelegten Halbkugeln (Magdeburger) die Luft möglichst entfernt wird, so können sie nur mit sehr großer Kraftanstrengung getrennt werden.

4) Quecksilber u. a. kann vermittelst des äußeren Luftdruckes durch Holz, Leder u. a. getrieben werden.

5) Aus Holz und anderen Körpern unter Wasser und aus dem Wasser selbst, besonders frisch geschöpftem, steigen außerordentlich viele Luftblasen, wenn sie sich unter dem Rezipienten im luftverdünnten Raume befinden. Flüssigkeiten binden Luftarten bei größerem Drucke besser, als bei geringerem. Wird die Luft aus färbenden Flüssigkeiten entfernt, so dringt der Farbestoff besser in die Zeuge ein.

6) Eine Fischblase oder ein ganz dünnes gut verschlossenes Glas zerspringt, eine zugebundene und wenig Luft enthaltende Blase bläht sich auf, wenn die Luft um sie verdünnt wird: fällt wieder zusammen, wenn der alte Luftdruck eintritt. Ein Stück Sauerteig schwellt an; ein runzliger Apfel wird glatt.

7) Wird eine oben geschlossene Glasröhre mit ihrer Mündung in ein Gefäß mit Wasser, welches unter dem Rezipienten steht, getaucht; so steigen beim Evakuiren aus der Röhre durch das Wasser Luftblasen, ohne daß sich die Röhre weiter mit Wasser füllt. Läßt man aber wieder Luft in den Rezipienten, so füllt sie sich theilweise.

8) Ein unter Wasser in einem offenen Gefäße befindlicher kartesianischer Taucher steigt, wenn die Luftverdünnung im Rezipienten statt findet.

9) Der Heronsball unter dem Rezipienten springt bei beginnender Verdünnung. Füllung des Heronsballes unter dem Rezipienten.

10) Der Heber, die Saugpumpe und drgl. Vorrichtungen versagen im luftleeren Raume ihre Dienste.

11) Körper von sehr verschiedenem spez. Gew. (Flaumfedern, Holz, Metall) fallen im luftverdünnten Raume fast gleich schnell.

12) Kleine Thiere unter dem Rezipienten sterben, wenn die Luft in ihm hinreichend verdünnt wird. Ein Licht verlischt; ein Feuerschloß giebt keine Funken; der Schall eines Schlagwerkes ist nicht hörbar.

13) Durch die Luftpumpe läßt sich das absolute Gewicht der atmosphärischen Luft und das spezifische der übrigen Gase bestimmen. Bei 28 Zoll Barometerstand und Nullgrad Temperatur ist sie 772,8 mal leichter als Wasser, so daß ein Kubikfuß ungefähr $2\frac{1}{4}$ Loth wiegt.

Spezifisches Gewicht einiger Luftarten.

Atmosphärische Luft	1,00	Ammoniakgas	0,59
Sauerstoffgas	1,10	Salzsaures Gas	1,25
Stickstoffgas	0,97	Kohlensaures Gas	1,52
Wasserstoffgas	0,07	Ölbildendes Gas	0,97
Chlor	2,47	Kohlenwasserstoff	0,56
Stickstofforidul	1,53	Schwefelwasserstoff	1,19
Stickstofforydgas	1,04	Phosphorwasserstoff	0,92

II. Zustand der Bewegung der Gase.

a) Im Allgemeinen. Eine Störung des Gleichgewichtes tritt bei Gasen dann ein, wenn zwei mit einander verbundene Raüme Gase von verschiedener Dichtigkeit enthalten.

Zwischen einer erwärmten und einer kalten Stube findet an der geöffneten Verbindungsthür eine doppelte Strömung statt. Wird der Behälter der Kompressionspumpe geöffnet, so strömt die verdichtete Luft mit Heftigkeit heraus in den Raum, wo die weniger dichte atmosphärische Luft ist und treibt selbst feste Körper auf große Entfernungen fort (Windbüchse). — Auf gleiche Weise strömt

die äußere atmosphärische Luft in den Rezipienten der Verdünnungspumpe, wenn nach geschehener Verdünnung die Verbindung hergestellt wird. — Kommt man aus der freien Luft in komprimirte, etwa von dem Drucke dreier Atmosphähren (Taucherglocke), so empfindet man in den Ohren einen mehr oder minder lebhaften Schmerz. Bei manchen Personen tritt der Schmerz ein, wenn sie aus verdichteter Luft in die atmosphärische kommen. Bei einem Drucke von drei Atmosphären ist es keinem Menschen möglich zu pfeiffen und man spricht durch die Nase. — Die Bewegungen der atmosphärischen freien Luft, oder die Winde, sind ebenfalls eine Folge des auf verschiedene Weise gestörten Gleichgewichtes, welches durch diese Bewegungen wieder hergestellt werden soll. Auch die Winde dienen dazu, anderen Körpern Bewegung zu ertheilen. Windmühlen.

b) Aus Behältern mit Öffnungen. Die Strömung der Gase aus Behältern durch Öffnungen in dünnen Wänden ohne und mit Ansatz- und Leitungsröhren ist ganz der Bewegung tropfbar flüssiger Körper angemessen. Für die Geschwindigkeit, womit die Gase ausströmen, gilt auch dieselbe Formel, wie für tropfbare Flüssigkeiten, nämlich $g = \sqrt{2ar}$, wobei a die beschleunigende Kraft der Schwere und r die Druckhöhe war. Aber r ist hier nicht unmittelbar aus der Beobachtung gegeben, indem die in einem Gefäße eingeschlossenen Gase nie durch eine Luftsaüle von bestimmter Höhe und gleichmäßiger Dichtigkeit gedrückt werden, sondern es muß aus der Höhe der Wassersaüle, welche am Monometer den Druck der Luft im Behälter mißt, oder aus der Dichtigkeit d der Luft an der Ausflußöffnung, der Dichtigkeit D des Quecksilbers, dem Barometerstande B durch $d : D = B : r$ berechnet werden und es ist dann $g = \sqrt{2a\frac{DB}{d}}$.

Bei verschiedenen Gasen verhalten sich die Ausflußgeschwindigkeiten wie umgekehrt die Quadratwurzeln aus den Dichten.

Strömt Luft unter dem Drucke der Atmosphäre in einen luftleeren Raum, so erleidet sie den Druck einer Wassersaüle von 32 bis 33 Fuß. Nun ist sie aber 772mal weniger dicht als Wasser, folglich müßte sie 772 . 32 Fuß = 24704' hoch sein, wenn sie gleichmäßig dicht wäre und dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht halten sollte. Es wäre also für diesen Fall $g = \sqrt{2 . 30 . 24704} = 1217{,}4'$. Strömte aber auch Luft unter einem andern Drucke in einen luftleeren Raum, so würde die Ausflußgeschwindigkeit sich nicht ändern, weil die Dichtigkeit der ausströmenden Luft dem Drucke, welchen sie erleidet, proportional ist.

Wenn zusammengedrückte Luft in einen Raum mit Luft von geringerer Spannung ausströmt, so ist die Ausflußgeschwindigkeit von der Differenz beider Spannungen abhängig.

Die wirkliche Ausflußmenge der Luft aus einer Öffnung ist, wie bei tropfbaren Flüssigkeiten, auch geringer, als die theoretische, weil auch hier eine Zusammenziehung des Strahles stattfindet. Ansatzröhren vermehren die Ausflußmenge bis auf etwa 0,6 der theoretischen. In Leitungsröhren (Gasanstalten) ist der Reibungswiderstand zu überwinden, wozu ein Theil der Spannung des komprimirten Gases verwendet wird, welcher für die Geschwindigkeit desselben verloren geht. Auch hier nimmt der Reibungswiderstand um so mehr ab, je mehr man sich der Ausflußöffnung nähert. Die Gasmengen, welche Röhrenleitungen liefern, stehen in gradem Verhältnisse mit dem Drucke, dem sie im Gasbehälter ausgesetzt sind, und im verkehrten der Quadratwurzeln der Längen der Röhren. Auch die Erscheinung des Saugens oder die Neigung zur Bildung eines luftleeren Raumes zeigt sich hier.

Bläst man heftig in den Spalt zwischen zwei Fingern, indem man die Hand horizontal hält oder durch eine Röhre und bringt zugleich an die untere Seite ein Blättchen Papier oder ein Kartenblatt, so bleibt dieses während des Blasens anliegen, gehalten durch den Druck der atmosphärischen Luft. Auch wenn aus einem Behälter mit verdichteter Luft ein Strom von 1 bis 2 Zoll Durchmesser gegen eine 7 bis 8 Zoll große Scheibe von Holz oder Metall strömt, wird diese an der Öffnung festgehalten und oszillirt, indem sie in kurzen Zwischenraümen sich bald der Öffnung nähert, bald von ihr entfernt und die Luft mit großem Geraüsche ausströmen läßt. — Erniedrigung des Barometerstandes, wenn ein heftiger Luftstrom über den offenen Schenkel hinstreicht. Auch zeigt sich bei einem einseitigen Ausströmen aus Öffnungen eines beweglichen Behälters die Reaction auf die entgegen gesetzten Wände.

Steigen von Raketen, Feuerräder bei Feuerwerken, der Rückschlag beim Abschießen von Kanonen und Gewehren.

c) Mittel zur Erlangung eines fortwährenden Luftstrahls. Für das praktische Leben ist es oft wichtig, einen ununterbrochenen Strahl ausströmenden Gases, vorzüglich einen von gleichbleibender Stärke, zu erhalten.

1) Unter die Vorrichtungen zur Erreichung dieses Zweckes gehören die Gasometer

α) Zu Versuchen mit Gasen ist ein Gasometer von folgender Zusammensetzung angemessen. A ist (Fig. 90.) ein hohler Metallzylinder, etwa $1\frac{1}{2}$ Fuß hoch und 1′ im Durchmesser; auf seiner oberen Decke ruht ein zweiter B, oben offener von 6 Zoll Höhe. Von der Decke des A geht ein Rohr a mit Hahn nach dem Boden von B und von dem Boden des B ein anderes bb bis fast an den Boden des A und hat einen Hahn; außerdem hat A oben eine kurze Seitenröhre c mit Hahn und einer Vorrichtung zum Anschrauben von Ansatzröhren und fast am Boden eine etwas weitere und aufwärts gekrümmte kurze Röhre d, welche mit einem Korke verschlossen werden kann. Soll A mit einem Gase gefüllt werden, so schließt man d, öffnet die Hähne a, b, c, gießt nach B so lange Wasser, bis A gefüllt ist, wobei dann zuerst der Hahn von c, dann der von a geschlossen werden muß; dann schließt man endlich auch b und leitet durch das geöffnete d das Gasentbindungsrohr, welches sich aber nicht so dicht anschließt, als daß nicht bei der Gasentwickelung das Wasser ausfließen könnte. Durch das Glasrohr ee läßt sich die Menge des Gases in A beurtheilen. Bei geöffnetem b erhält das Druckwasser in B das Gas in A stets im Zustande einer größeren Spannung.

β) Die Gasometer bei Gasbeleuchtungsanstalten bestehen aus einem großen Zylinder A (Fig. 91.) von Metallblech, welcher in einen Wasserbehälter BB taucht und durch ein Gegengewicht C in seinem Drucke geregelt werden kann, und aus zwei Röhren, von denen die eine aa an seinem unteren Ende mündet und ihm das Gas zuleitet, die andere bb oben endet und in einer beliebigen Anzahl von Zweigröhren dasselbe ableitet. Wenn auch A tiefer herabsinkt, so verliert es von seinem Gewichte nicht bedeutend mehr, weil das dünne Metallblech wenig Wasser mehr verdrängt, so daß der Druck auf das eingeschlossene Gas, folglich auch seine Ausströmungsgeschwindigkeit bei einem bestimmten Gegengewichte sich ziemlich gleich bleibt.

2) Gebläse. Zu manchen anderen technischen Zwecken bedarf man

eines fortwährenden Stromes atmosphärischer Luft von möglichst gleicher Stärke, wie bei Schmieden, Frischfeuern, Hochöfen, um die Menge des zum Brennen nothwendigen Sauerstoffes in einer gewissen Zeit zu vermehren.

α) Der einfache Blasebalg läßt keinen fortwährenden Strom erzeugen; hat man aber einen zweitheiligen (Fig. 92.), wobei A der feste Windbehälter ist, welcher ein nach innen sich öffnendes Ventil v und ein Blaserohr a besitzt, und B der bewegliche, ebenfalls mit einem nach innen sich öffnenden Ventile v', so ist der Zweck leicht zu erreichen. Das auf A gelegte Gewicht c befördert die Geschwindigkeit der Ausströmung.

β) Einen schnelleren und stärkeren Strom bewirken die Zylindergebläse. (Fig. 93.) In dem Zylinder AA bewegt sich ein durch eine Stopfbüchse an der Decke luftdicht gehender Kolben, oben und unten hat er je zwei Röhren mit Ventilen, von denen sich d und b nach innen, a und c nach außen öffnen und letztere die Luft in den Windkasten oder Windkessel B lassen, aus welchem sie durch ein Rohr e fortgeleitet werden kann. Geht der Kolben aufwärts, so sind a und b geöffnet, geht er aber abwärts, so schließen sich dieselben, während c und d sich öffnen. Weil nun aber der Kolben in der Mitte des Zylinders AA die größte Geschwindigkeit erlangt, so ist der Strom nicht von ganz gleicher Stärke und deßhalb muß man entweder die Luft aus B zuerst in einen verhältnißmäßig sehr weiten Windkasten, Regulator, welcher etwa 50 mal größer als AA ist, treten lassen oder drei Zylinder anwenden, bei welchen die Kolben in verschiedenen Zeiten die Mitte erreichen?

Man kann auch einen Wasserregulator gebrauchen, ähnlich dem bei Leuchtgasapparaten. Ein luftdichter Kasten ist nämlich unten durch Wasser gesperrt, durch seine Decke gehen zwei Röhren, von denen die eine die verdichtete Luft zuführt, die andere sie ableitet. Der Unterschied zwischen dem äußeren und inneren Wasserstande giebt den Druck an, unter welchem die Luft aus dem Regulator entweicht.

d) Bewegung fester Körper mit und in Gasen. Es bleiben nun noch die Erscheinungen der Bewegung fester Körper in Verbindung mit den Gasen übrig. Da in einem gewissen Gase ein anderes, welches leichter ist, steigen muß, so kann dieses auch noch feste Körper, in denen es eingeschlossen ist, entweder zum Schweben bringen oder dieselben mit sich aufwärts fortführen, wenn nur die verbundenen Körper ein Gewicht besitzen, welches dem der verdrängten Luft gleich ist oder im andern Falle es noch nicht erreicht. — Indifferentes, stabiles Gleichgewicht.

So z. B. steigen Seifenblasen von Wasserstoffgas in der atmosphärischen Luft schnell in die Höhe; ebenso Ballons von Goldschlägerhaut mit diesem Gase gefüllt und zwar so lange, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Die Glaskugel des Dasymeters steigt, wenn die umgebende Luft dichter wird.

Je größer der Unterschied zwischen dem absoluten Gewichte der von einem Ballon aus dem Wege gedrängten atmosphärischen Luft und seinem eigenen Gewichte sammt dem der Füllung ist, desto größer ist auch die Kraft, womit der Ballon steigt (Steigkraft). Da nun der Rauminhalt eines kugelförmigen Ballons wie die dritte Potenz, seine Oberfläche (Umhüllung) nur wie die zweite Potenz des Durchmessers wächst, also die Umhüllung in einem geringeren Verhältnisse schwerer wird, als die um-

...reute Luft, so wächst die Steigkraft der Luftbälle in einem größeren Verhältnisse, als ihr Durchmesser, und daher nehmen auch große Ballons verhältnißmäßig bedeutendere Lasten mit sich in die Höhe, als kleinere.

Nimmt man 1 par. Kub.-Fuß atmosphär. Luft zu 2,8′ Loth, das unreine Wasserstoffgas zu 0,4 Loth, 1 Quadratfuß gefirnißten Taffent zur Hülle etwa zu 1,5 Loth an; so hat ein Ballon

von	10	par.	Fuß	Durchm.	eine	Steigkraft	von	24 ℔.
"	20	"	"	"	"	"	"	255 "
"	50	"	"	"	"	"	"	4542 "
"	100	"	"	"	"	"	"	37796 "

Steigt nun ein Ball in höhere Schichten der Atmosphäre, so erleidet er von diesen einen geringeren Druck, als in tieferen, während die Spannkraft der eingeschlossenen Luft dieselbe bleibt. Daraus folgt, daß, wenn das Gas in den unteren Schichten den Ball noch nicht vollständig erfüllte, dies doch in den oberen Schichten geschieht; ja daß man, um ein Zerspringen des Balles zu vermeiden, einen Theil des eingeschlossenen Gases durch Ventile herauslassen muß. Dadurch verliert zwar der Ball an seinem absoluten Gewichte, aber das Verhältniß seines Gewichtes zu dem der verdrängten Luft kann beibehalten werden, indem letztere in der Höhe auch leichter wird. Die Steigkraft muß aber dessen ungeachtet abnehmen, weil der oben angegebene Unterschied immer kleiner wird, und sie kann nur dadurch wieder vermehrt werden, daß man von dem mitgenommenen Ballaste (Sand) auswirft. Dadurch hat es der Luftschiffer einigermaßen in seiner Gewalt, wiederholt zu sinken und zu steigen und dadurch eine veränderte Richtung nach den verschiedenen Winden in den höheren Gegenden der Atmosphäre einzuschlagen. Früher wendete man, statt einer besonderen leichteren Gasart, erwärmte atmosphärische Luft an. Montgolfièren, Charlièren.

Zweite Abtheilung.

Untergeordnete Zustände.

Jeder Körper ist als Ganzes sicher entweder im Zustande der Ruhe oder in dem der Bewegung und insofern sind diese Zustände als **nothwendige** anzusehen. Es ist aber noch möglich, daß die Molekel eines jeden Körpers, selbst wenn er als Ganzes in Ruhe zu sein scheint oder ist, sich innerhalb gewisser Gränzen bewegen. Da nun ein Körper, er mag in Ruhe oder in Bewegung sein, diese Molekularbewegung nicht durchaus haben muß, so sind die dahin gehörigen Zustände als zufällige, von besonderen Bedingungen abhängige, also als **untergeordnete** zu betrachten.

Erster Abschnitt.

Schwingende Bewegungen der Körper aller Aggregatszustände, Wellenlehre.

I. Schwingungszustände im Allgemeinen.

Wenn Theile eines festen, namentlich elastischen oder eines flüssigen oder auch eines luftförmigen Körpers durch irgend eine momentan wirkende

Kraft aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht werden, ohne ihren Zusammenhang mit den anderen zu verlieren, so kehren sie zufolge der fortwährend in ihnen thätigen Kräfte (Kohäsionskraft, Schwere, Elastizität) 1) mit beschleunigter Bewegung in ihre erste Lage zurück, gehen 2) nach dem Beharrungsgesetze und zwar mit verzögerter, wenn kein Widerstand vorhanden ist, eben so weit darüber hinaus, kehren 3) mit beschleunigter in die erste und endlich 4) mit verzögerter in die Lage zurück, welche ihnen die angewendete Kraft gab.

Der ganze Hin- und Rückweg jedes Theilchens besteht, wie beim Pendel, aus vier Theilen; im ersten und dritten beschleunigt, im zweiten und vierten verzögert die in dem Körper selbst thätige Kraft die Bewegung.

1) Was die schwingenden Körper selbst anlangt, so können sie nach ihren Dimensionen zerfallen:

a) in solche, bei denen eine Dimension überwiegt; das sind die linienförmigen Körper, wie Saiten (an beiden Seiten durch feste Körper gehalten und gespannt), starre Stäbe (an beiden Enden oder auch nur an einem befestigt), Luftsaülen, die entweder an beiden Enden oder auch nur an einem Ende mit der aüßeren Luft in Verbindung und durch sie gespannt sind (offene und gedeckte Pfeifen);

b) in solche Körper, bei denen zwei Dimensionen überwiegen, sie mögen starre Scheiben (ebene, gekrümmte) oder biegsame Haüte oder die Spiegel von Flüssigkeiten sein: flächenförmige Körper; und

c) in solche, bei denen keine Dimension bedeutend überwiegt: massenförmige Körper, z. B. ein Ambos, die freie atmosphärische Luft.

2) Die Richtung der Schwingungen der einzelnen Theile kann

a) senkrecht stehen auf der Hauptrichtung oder den Hauptrichtungen des Körpers: Transversal- oder Querschwingungen;

b) die Schwingungen können in der Hauptrichtung des Körpers so geschehen, daß ein Theilchen in grader Richtung hinter dem andern sich bewegt: Longitudinal- oder Längenschwingungen; oder

c) sie können um die Längenaxe pendelartig innerhalb gewisser Gränzen stattfinden: Rotirende oder Drehschwingungen.

3) Bei allen diesen Schwingungen können die Körpertheile des schwingenden Körpers nicht über gewisse Gränzen hinausgehen ohne den Zusammenhang zu trennen, also muß die das Gleichgewicht störende Kraft eine in Beziehung auf jeden Körper beschränkte sein, um solche Schwingungen hervorzubringen. Diejenigen Körpertheile nun, die gleichzeitig zwischen anderen in der Gleichgewichtslage verharrenden dieselbe Bewegungsrichtung befolgen, bilden den Begriff der Welle. Sind die Gränzen einer Welle, Knoten, von veränderlicher Lage, so heißt sie eine fortschreitende, sind sie aber bestimmte, so ist sie eine stehende.

Da sich nun diese Wellenbewegung auf Körper mit einer oder zwei Hauptdimensionen oder auf solche, bei denen keine der drei Dimensionen vorherrscht, beziehen kann, so giebt es lineare oder Seilwellen, Kreiswellen und Kugelwellen.

Eine einmalige und momentane Störung des Gleichgewichtes an einer einzelnen Stelle eines Körpers von gleichartiger Beschaffenheit verbreitet sich wegen des Widerstandes der ruhenden Theile nur allmählig über den ganzen Körper

und es müssen die Oszillationsamplituden immer kleiner werden, zumal die Bewegung sich auf mehr und mehr Masse vertheilt, bis sie in einem hinreichend ausgedehnten Körper verschwindet; es können in diesem Falle nur fortschreitende Schwingungen entstehen. Aber stehende bilden sich dann, wenn entweder in einem Körper von geringerer Ausdehnung die Schwingungen bis an seine Gränze gelangen, dort von dem angränzenden Körper zurück geworfen werden und mit neu ankommenden von derselben Dauer und Ausdehnung zusammen fallen, oder wenn die Schwingungen in einem Körper wegen seiner allzugroßen Ausdehnung zwar nicht bis an seine Gränzen gelangen können, wenn aber durch wiederholte Störungen des Gleichgewichtes an denselben Stellen dieselben Schwingungszustände in denselben Zeiten erzeugt werden.

II. Besondere Schwingungsarten.

A. Seilwellen, a) mit Transversalschwingungen:

α) Fortschreitende Wellen. Wird gegen das eine Ende eines mäßig gespannten Seiles ein ziemlich heftiger Schlag, etwa mittelst eines Stabes ausgeführt, so bildet sich eine nach dem anderen Ende zu fortschreitende Reihe von Bewegungen diesseits und jenseits der Gleichgewichtslage oder es bilden sich Senkungen und Hebungen.

Fortschreitende Wellen, wenn man mit dem einen Ende eines auf ebenem Boden liegenden Seiles in gleichen Zeiten taktmäßig senkrechte Schläge macht, nur daß hierbei der Boden die Fortpflanzung der Bewegung in jeder Welle über die Gleichgewichtslage hindert.

β) Stehende Wellen. Ist ein Seil an dem einen Ende befestigt und beschreibt man mit dem anderen Ende, an welchem man es lose hält, zunächst ziemlich langsam, aber mit gleichförmiger Geschwindigkeit Kreise, so gerathen bald alle Theile in kreisförmige Bewegung, wobei die Mitte den größten Kreis, die Theile nach den Enden um so kleinere zurücklegen, je näher sie den Enden liegen. Beschleunigt man die Geschwindigkeit, so bildet sich in der Mitte eine ruhende Stelle (Fig. 94.), ein Knoten, und die beiden Hälften bewegen sich abwechselnd auf entgegen gesetzten Seiten der Gleichgewichtslage, indem jede für sich schwingt, wie im ersten Falle, und einen Bauch bildet Durch neue Beschleunigung können sich zwei Knoten und drei Baüche, drei Knoten und vier Baüche u. s. w. an bestimmten Stellen bilden, wobei die Knotenstellen das Seil immer in eine gewisse Anzahl gleicher Theile zerlegen.

Wenn man ein horizontal mäßig gespanntes Seil ab von 10 bis 20 Fuß Länge in seiner Mitte c etwas seitwärts in die Lage acb zieht und dann losläßt, so kehren alle seine Theile in ihre Gleichgewichtslage mit beschleunigter Geschwindigkeit nicht nur zurück, sondern bewegen sich wegen des Beharrungsvermögens, aber mit verzögerter Geschwindigkeit noch über dieselbe fast eben so weit nach ac′b hinaus, als sie gezogen worden waren. Aus der Lage ac′b geht es nun wieder nach ab mit beschleunigter, von da nach acb mit verzögerter Geschwindigkeit zurück, indem jeder Punkt eine auf der ursprünglichen Lage senkrechte Linie beschreibt, welche eine grade wäre, wenn nur eine Kraft auf jeden Punkt wirkte, aber eine elliptische oder kreisförmige wird, wenn mehre Kräfte in verschiedenen Ebenen wirksam sind. Diese Schwingungen pflanzen sich von c aus auf die benachbarten Punkte des Körpers über, sie sind aber für diesen Halbirungspunkt am größten und werden nach den beiden Enden zu immer kleiner. Je grö-

ßer die spannende Kraft der ab, desto weniger weit gehen unter übrigens gleichen Umständen diese Schwingungen und desto eher kehrt der Gleichgewichtszustand zurück. Bei mäßiger Spannung sind die Schwingungen noch zählbar, bei stärkerer Spannung hören sie auf, zählbar zu sein, werden aber hörbar: es tritt statt des Gesichtssinns der Hörsinn zur Wahrnehmung der Bewegung ein.

Bei gespannten Saiten kann man die Erscheinung der Knoten und Baüche dadurch leicht hervorbringen, daß man die Saite in eine beliebige Anzahl gleicher Theile getheilt annimmt, an dem Ende des ersten Theiles durch Berühren mit einem ganz schmalen Körper dämpft und die Mitte des ersten Theiles mit einem geharzten Violinbogen anstreicht. Liegen nun hierbei auf verschiedenen Stellen der Saite schmale Papierreiterchen, so werden bei dem Anstreichen der Saite alle bis auf die in den Theilungspunkten liegenden abgeworfen. Diese Bildung stehender Schwingungen ist eine Folge der Zurückwerfung der Bewegungen von dem entfernteren Befestigungspunkte, wobei die Knotenstellen die Orte sind, in denen die nach vorwärts gehenden Schwingungen durch die von da zurück kehrenden aufgehoben werden. — Werden bei einem mäßig gespannten Seile gegen das eine Ende hin taktmäßig in angemessenen Zeiten gleiche Schläge ausgeführt, so tritt derselbe Umstand ein.

Wird ein an dem einen Ende a (Fig. 95.) befestigter Metallstab aus der Gleichgewichtslage ab in die Lage ac gebracht und losgelassen, so macht er ebenfalls eine Reihe von Schwingungen, nur daß sein Endpunkt b, wenn der Stab als Ganzes schwingt, die größte Amplitude besitzt, wie die Mitte eines Bauches; entstehen aber Schwingungsknoten, so ist der erste vom freien Ende nur halb so weit entfernt, als zwei benachbarte Knoten. Liegt der Stab, oder auch eine schmale Platte von Holz, Glas, Metall u. a. mit beiden Enden auf, so verhält er sich wie eine gespannte Saite. Nimmt man jeden Bauch aus zwei Theilen bestehend an, so theilt sich der Stab in jenem Falle in eine ungrade, in diesem in eine grade Anzahl gleicher Theile. Kreisförmige Ringe theilen sich in eine grade Anzahl gleicher Theile. Biegt man grade Stäbe krumm, so rücken die Schwingungsknoten an der Krümmung einander näher.

Eine beliebig geformte (kreisförmige, ellyptische, quadratische) Scheibe aus einem festen Körper von möglichst gleichförmiger Dicke und Beschaffenheit kann als zusammengesetzt angesehen werden aus einer Reihe von Stäbchen. Hält man eine solche Scheibe z. B. aus Messing oder Glas zwischen zwei Fingerspitzen oder spannt man sie zwischen eine Schraube ein, bei möglichst weniger Verdeckung derselben, streut auf sie feinen trockenen Sand und streicht sie mit einem Geigenbogen an einer Stelle des matt geschliffenen Randes an, so springt bei der Entstehung eines Klanges der Sand an den meisten Stellen senkrecht aufwärts und sammelt sich in einzelnen ruhigen Linien, den Knotenlinien, zu Figuren, welche man Klangfiguren nennt. Die Transversalschwingungen zu beiden Seiten einer bestimmten Knotenlinie müssen einander entgegen gesetzt sein, sonst könnten die Knotenlinien, in denen diese Bewegungen einander aufheben, nicht entstehen.

Glas- und andere Glocken sind als gekrümmte Scheiben anzusehen und theilen sich, wenn man sie am Rande anstreicht, ebenfalls durch Schwingungsknotenlinien, welche sämmtlich durch den Knopf der Glocke gehen, in mehr oder weniger gleiche Theile (nach graden Zahlen), die mit dem ganzen zugleich schwingen, wenn man nicht gewisse Stellen berührt. Werden solche Glocken theilweise mit Wasser gefüllt und dieses mit Herenmehl bestreut, so bemerkt man an den Strudeln des Wassers, was dadurch in zarten Tropfen in die Höhe geworfen wird und an der Gruppirung des aufgestreuten Pulvers die entstandene Eintheilung sehr leicht.

Wenn beim Vibriren einer gleichförmigen elliptischen Platte senkrechte Knotenlinien entstehen, so fallen diese stets in die kleine und große Axe; streicht man aber an dem einen Ende der großen Axe, so entstehen hyperbolische Linien, zu welchen die große Axe der Ellipse als ihre Axe gehört, und der Ton ist der tiefste, den die Scheibe geben kann. Nun leistet aber die Platte beim Biegen in der Richtung der großen Axe einen größeren Widerstand, als in der Richtung der kleinen, und somit konnte man vermuthen, daß auch jede anders geformte Scheibe aus irgend einem Stoffe nach derjenigen Richtung den größten Widerstand leisten werde, in welcher die Hyperbelaxe bei Erzeugung des tiefsten Tones liegen werde. Dies hat sich in der That bestätigt; z. B. bei kreisförmigen Messingplatten, deren Elastizität man durch eine Reihe von parallelen Feilstrichen einseitig veränderte; bei quadratischen Scheiben und bei Stäben aus Buchenholz, welche 1) parallel mit den Ebenen der Fasern, 2) parallel mit den Fasern, aber rechtwinklig auf ihren Ebenen; 3) senkrecht auf den Fasern geschnitten waren; bei Scheiben aus Krystallen.

In ähnlicher Weise wie Scheiben aus starren Körpern schwingen auch aufgespannte Haüte, z. B. bei den Trommeln, Pauken, Tambourins.

b) Longitudinalschwingungen. Nimmt man eine sehr lange Saite, bis zu 50 Fuß, und streicht sie unter einem sehr spitzen Winkel an, so entstehen Longitudinalschwingungen. Sie bestehen darin, daß entweder die ganze Saite oder ihre aliquoten Theile abwechselnd Zusammenziehungen und Ausdehnungen der Länge nach unterworfen sind, wobei sich die Theile der Saite theils an die Punkte, in denen sie selbst befestigt ist, theils an die Schwingungsknoten abwechselnd andrängen und wieder davon entfernen. Die einfachste hierbei vorkommende Schwingungsart ist also die, bei welcher alle Theile der Saite eine gleichzeitige Bewegung haben, die abwechselnd nach den beiden entgegen gesetzten Enden gerichtet ist, wobei der Mittelpunkt der Saite weder Zusammenziehung noch Ausdehnung erleidet, aber die größte Geschwindigkeit hat, während die Endpunkte abwechselnd die größte Ausdehnung und Zusammenziehung erfahren ohne sich merklich zu bewegen. Theilt sich die Saite in zwei gleiche Theile, so stemmen sich die Schwingungen an den unbewegten Mittelpunkt und die beiden Endpunkte u. s. w.

Eine Glasröhre oder einen massiven Stab von Glas, Holz, Metall bringt man durch ein in der Längenrichtung ausgeführtes Reiben mit einem feuchten oder mit Harz bestreuten Tuchflecke in Längenschwingungen. Die Schwingungsknoten werden bei längeren Röhren durch eingestreuten trockenen Sand, bei Stäben durch umgelegte feine Papierringe sichtbar gemacht und ihre Anzahl kann durch Veränderung der Geschwindigkeit oder des Druckes beim Reiben verändert werden. Knotenlinien wie unregelmäßige Schraubenlinien. Auch hier besteht die ganze aus Hin- und Rückweg zusammen gesetzte Bahn jedes Körpertheilchens aus vier Elementen, von denen zwei eine beschleunigte, die beiden anderen eine verzögerte Geschwindigkeit besitzen. — Die Oszillationsamplituden nehmen von zwei benachbarten Knotenpunkten nach der Mitte der Welle hin zu.

c) Drehende Schwingungen werden an zylindrischen Stäben dadurch hervorgebracht, daß man sie an dem einen Ende in einen Schraubstock einspannt und an dem anderen in drehender Bewegung mit einem

Bogen anstreicht. Schwingungsknoten bringt man durch Berührung einzelner Stellen hervor.

Die obigen Betrachtungen über die verschiedenen Schwingungsarten treten jede für sich um so bestimmter hervor, je geringer die Dicke der Körper ist, gehen aber bei dickeren Stäben und Scheiben mehr oder weniger in einander über.

B. Kreiswellen, a) fortschreitende. Läßt man eine Kugel oder auch einen anderen Körper senkrecht auf einen ruhigen Wasserspiegel fallen, so bilden sich um den Mittelpunkt o (Fig. 96.) der getroffenen Stelle, von ihm aus in konzentrischen Kreisen gleichmäßig fortschreitend, abwechselnd Erhöhungen, (ab, cd) Wellenberge und Vertiefungen, (de, bh) Wellenthäler, des Wassers über u. unter dem ursprünglichen Niveau he. Das Wasser von den tiefsten Stellen eines Wellenthales bis zu denen des nächsten heißt eine Welle; ihre Höhe ist die Summe der Höhen des Wellenberges und Wellenthales, ihre Breite oder auch Länge die auf dem Radius genommene und aus 4 Theilen bestehende Entfernung der tiefsten Stellen zweier benachbarten Wellenthäler.

Breite des Wellenberges, des Wellenthales; ihre Summe die Länge einer Welle.

Die Gründe für die obige Erscheinung beruhen in der leichten Verschiebbarkeit der Flüssigkeitstheile, in der Schwere derselben und in dem Beharrungsvermögen. Fällt die Kugel in das Wasser, so drängt sie einen Theil desselben seitwärts; die schon seitwärts liegenden müssen sich nach oben, als der Richtung, in welcher sie den geringsten Widerstand finden, bewegen und es bildet sich rings um die einfallende Kugel ein kreisförmiger erhöhter Wasserkranz. Von diesem gehen die Wassertheile wegen ihrer Schwere nach beiden Seiten, nach außen und nach innen, abwärts. Nach außen bewirken sie durch den Druck auf die unteren und vorwärts liegenden Theile einen neuen Wellenberg, bewegen sich aber nach dem Beharrungsgesetze nicht blos bis zum ursprünglichen Niveau herab, sondern noch unter dasselbe, wodurch an der Stelle des vorigen ersten Wellenberges ein Wellenthal entsteht. Nach innen oder nach dem Mittelpunkte der Erregung bewirken sie einen Wellenhügel, von welchem eine neue Wellenerregung beginnt, während sich die äußere erste Welle immer weiter fortpflanzt durch abwechselnde Hebung und Senkung der Wassertheile über und unter das Niveau, indem sie dabei länglichrunde, geschlossene Bahnen beschreiben, die in der Mitte des Wellenberges am größten sind.

Der Vordertheil des Wellenberges und der Hintertheil des darauf folgenden Wellenthales sind gleichzeitig im Steigen, so wie der Hintertheil des Berges und der Vordertheil des Thales im Sinken begriffen. Die Kraft für die fortschreitende Bewegung der Wellen liegt im Sinken des Vordertheiles des Wellenberges, wo sich die Bewegung von Theilchen zu Theilchen fortpflanzt, ohne daß die Bahnen zweier je einander schneiden.

Die Beobachtung zeigt übereinstimmend mit der Theorie Folgendes:

1) Je mehr sich die fortschreitende Welle von dem Mittelpunkte der Erregung entfernt, desto mehr nimmt ihre Höhe ab, bis sie ganz verschwindet.

2) Der ersten Welle folgen vom Mittelpunkte der Erregung aus noch mehre andere, aber kleinere, auf gleiche Weise fortschreitende, bis hier das Gleichgewicht wieder hergestellt ist.

3) Das Wasser selbst hat keine fortschreitende Bewegung, sondern senkt und hebt sich nur abwechselnd.

4) Die Zeit, in welcher jedes Theilchen seine Bahn einmal zurück legt, ist auch die Zeit, in welcher die Welle um ihre ganze Länge fortschreitet.

5) Die Bahn jedes Theilchens ist auf dem Niveau senkrecht und besteht, so wie die Länge der Welle aus 4 Theilen, von denen zwei mit beschleunigter, die beiden andern mit verzögerter Geschwindigkeit zurück gelegt werden.

6) Auch durch einen nur einmaligen Impuls machen die Theilchen jeder Welle wiederholte Schwingungen in ihren Bahnen, die aber immer kleiner werden.

7) Wenn eine Welle eine feste Wand unter irgend einem Winkel trifft, so wird sie auch unter demselben Winkel von ihr zurück geworfen, wobei der Mittelpunkt der zurück geworfenen eben so weit hinter der Wand liegt, als er sich für die ankommende vor ihr befindet.

Ist in der Wand eine kleine Öffnung, so ist sie der Mittelpunkt eines neuen Wellensystems jenseits; ist die Öffnung größer, so pflanzen sich Wellenbogen durch sie fort und um die beiden Ränder der Öffnung entstehen Wirbel nach entgegengesetzter Richtung.

8) Wenn in dem einen Brennpunkte eines ellyptischen Gefäßes eine Welle erregt wird, so bildet sich durch Zurückwerfung von den Wänden eine zweite sich mehr und mehr verengende Welle, welche ihren Mittelpunkt in dem zweiten Brennpunkte hat.

b) Stehende Kreiswellen. Bei einem kreisrunden Gefäße können durch rechtzeitiges wiederholtes Einsenken einer Kugel und dergl. in der Mitte des Gefäßes die zurückgeworfenen Wellen mit den ankommenden zusammen treffen, wenn nur die ankommenden immer dieselbe Länge besitzen, welche in dem Radius des Gefäßes genau enthalten ist und die Zeitdauer der Bewegung für alle Wellen dieselbe ist.

In Fig. 97. sollen Wellen in der Richtung von kl nach der Wand ai sich bewegen. Die erste von den (in a) ankommenden Wellen sei durch die schwache voll gezeichnete, die zweite (in e) durch die schwache punktirte, die dritte (in i) wieder durch eine schwache voll gezeichnete Linie dargestellt; dagegen seien die von ai zurück geworfenen durch stärkere voll gezeichnete und punkt. Linien ausgedrückt; ferner bedeute z die Zeit, welche eine Welle braucht, um bei ihrem Fortschreiten den vierten Theil der Bahn zurück zu legen und die Darstellungen von b bis i sollen den eigentlich blos auf die Stelle bei a für diese einzelnen Zeittheile sich beziehenden Vorgang bildlich angeben.

Nach 1 z ist der hintere Theil des Wellenberges bei b angekommen und der Vordertheil bereits bis qr reflektirt, so daß in b die Höhe fast die doppelte des Wellenberges beträgt; der Vordertheil der zweiten Welle ist bis mn nachgerückt

Nach 2 z ist der Vordertheil des Wellenthales in c angekommen und der ganze Wellenberg zurück geworfen, so daß er das Thal ausfüllt und einen Augenblick von op bis ai das Niveau hergestellt ist. Inzwischen ist der ganze Wellenberg der zweiten (punktirt dargestellten) Welle nachgerückt.

Nach 3 z ist der hintere Theil des Wellenthales in d angekommen

und $\frac{3}{4}$ der ersten Welle sind bis mn zurück geworfen, so daß zwischen mn und qr ihr Berg mit dem der zweiten angekommenen zusammenfällt und einen Berg von fast doppelter Höhe giebt, während zwischen qr und ai die halben Thäler einander verstärken.

Nach 4 z ist die erste Welle von e ganz zurück geworfen, die zweite daselbst angekommen; es decken Berg und Thal von beiden einander und es entsteht nach der ganzen Ausdehnung der Welle eine Ausgleichung im Niveau.

Nach 5 z ist in f von der zweiten angekommenen Welle der Vordertheil des Berges reflektirt, der Hintertheil desselben eben angekommen, so daß sie einander verstärken; aber ebenso verstärken einander das Wellenthal der zweiten angekommenen und der ersten reflektirten, so wie der Vordertheil des dritten ankommenden (schwach und voll gezeichneten) Berges und der Hintertheil des ersten reflektirten.

Nach 6 z fallen in g nicht nur das Thal der zweiten nachkommenden mit dem Berge der zweiten zurück geworfenen, sondern auch der Berg der dritten ankommenden mit dem Thale der ersten zurück geworfenen zusammen, so daß wieder eine Ausgleichung wie in e entsteht.

Nach 7 z ist der Erfolg wie nach 3 z, nach 8 z, so wie nach 4 z oder 6 z u. s. w.

Aus dieser Darstellung ist ersichtlich:

1) daß die Zustände sich von e an in der Art regelmäßig wiederholen, daß die Punkte in mn und qr sich gar nicht mehr bewegen: Knoten,

2) daß die Flüssigkeitstheile zu beiden Seiten eines Knoten in grade entgegen gesetzten Richtungen sich bewegen,

3) daß kein Fortschreiten der Wellen stattfindet, sondern daß an bestimmten Stellen ein Wellenberg sich in ein Thal verwandelt: stehende Wellen,

4) daß die Breite der stehenden Wellen nur halb so groß, als die der fortschreitenden, ihre Höhe aber größer ist.

Interferenz. Werden Wellen an verschiedenen Punkten einer bestimmten Flüssigkeit erzeugt, so durchkreuzen die beiden Systeme einander und gehen jedes so selbstständig fort, als wäre das andere gar nicht vorhanden. Dadurch kann es entstehen, daß an bestimmten Orten zwei Wellenberge oder zwei Wellenthäler zusammen treffen, wobei ihre Höhen und Tiefen einander vermehren, aber auch daß Wellenberge des einen mit Wellenthälern des anderen zusammen treffen und diese daselbst einander zum Theil oder ganz aufheben: Interferenz.

Wellenbewegungen dringen nicht tief in das Innere der Flüssigkeit ein, selbst nicht bei großen Stürmen auf dem Meere. Hört ein Sturm plötzlich auf, so ist der Wellenschlag nachher oft größer, als während des Sturmes, weil der andauernde Sturm wegen seiner Richtung gegen die Wellen dieselben verkleinert. Nach der Tiefe hin verwandeln sich die senkrechten Oszillationen der Theile mehr und mehr in eine horizontale Bewegung. — Aus den Dimensionen der Wellen schließen die Schiffer einigermaßen auf die Tiefe des Wassers. — Wellen können um so leichter hervorgebracht werden, je geringer die Kohäsion der Flüssigkeitstheile ist.

C. Kugelwellen, a) fortschreitende. Wenn in der Masse eines Körpers irgendwo eine plötzliche Störung des Gleichgewichtes eintritt, so

pflanzt sich dieselbe von diesem Orte aus um so mehr durch die Masse des Körpers fort, je elastischer dieser ist. Wenn z. B. in der atmosphärischen Luft durch Verbrennen einer Knallgasblase plötzlich ein leerer Raum entsteht, so stürzt die atmosphärische Luft von allen Seiten nach dem Mittelpunkte desselben, es erfolgt daselbst ein heftiger Stoß der Luft gegen Luft und eine starke Verdichtung derselben. Zufolge ihrer Elastizität dehnt sie sich nun nach allen Richtungen zu aus, drückt deßhalb auf die umgebende Luft, bringt in ihr ringsum eine Verdichtung hervor, welche nachher eben so bei ihrer Ausdehnung auf die nach auswärts folgende Luftschicht verdichtend wirkt.

Zur einfacheren Vorstellung und um den weiteren Verlauf in seiner größten Einfachheit darzustellen, nehmen wir zunächst an, die Erregung beschränke sich auf einen Punkt und die Erschütterung sei auch nur augenblicklich, indem dann wohl klar wird, wie eine ununterbrochene Fortdauer der Erregung auch Stetigkeiten in der Fortpflanzung nach sich zieht. — In dem Augenblicke, in welchem die in dem angenommenen Punkte verdichtete Luft sich ausdehnt, werden die den Punkt von allen Seiten umgebenden Luftmoleküle gegen die nach außen zu befindlichen benachbarten getrieben und zugleich, da diese in Ruhe sind und so einen Widerstand leisten, zusammen gedrückt. Dieser Widerstand wird aber dann durch die Expansivkraft des ersten Moleküls überwunden, sie weichen ebenfalls wie jene und werden zusammen gedrückt, beides freilich in einem schon etwas geringeren Verhältnisse. Dieser Vorgang der Verdichtung und Verdünnung findet nach allen Seiten von dem Punkte aus statt, aber wegen des Beharrungsvermögens der ruhigen Luft in immer geringerem Maße, je weiter man von dem Erregungspunkte kommt, bis endlich in einer der jedesmaligen Stärke des ersten Impulses angemessenen Entfernung diese Erscheinungen unmerklich werden und ganz aufhören. — Hört nach dem ersten Momente die Erschütterung im Mittelpunkte auf, so erfolgt der ganze Vorgang in einem für die Stärke der Erregung als unbegränzt anzusehenden Mittel zwar successiv in umgekehrter Ordnung, indem die zusammen gedrückten Moleküle vermöge ihrer Elastizität sich wieder zum natürlichen Zustande ausdehnen, so daß eine rückgehende Bewegung erfolgt; aber die den Punkt umgebende Luftmasse befindet sich bald wieder im ursprünglichen Gleichgewichte oder in Ruhe, ohne eine wahrnehmbare Wiederholung des Vorganges.

Weil die Kraft, welche die nach außen zu fortschreitende Bewegung der Theilchen bedingt, in dem Unterschiede der Elastizität der benachbarten vor- und rückwärts liegenden begründet ist und weil dieser Unterschied in der ganzen Bewegungsrichtung wegen der Gleichheit aller Umstände überall derselbe ist, so muß die Störung des Gleichgewichts und die unmittelbar darauf folgende, eigentlich fast momentane Herstellung desselben in einem Körper von gleichmäßiger Beschaffenheit progressiv mit gleicher Geschwindigkeit vom Erschütterungspunkte aus nach allen Richtungen in kugelförmigen Wellen vor sich gehen, wobei die oszillatorische Bewegung der Lufttheilchen nur in der Richtung der Kugelradien statt findet, indem jede Seitenbewegung durch den Widerstand der in derselben Bewegung und Dichtigkeit befindlichen Theilchen verhindert wird, wobei zugleich kein Punkt

irgend einer Welle als ein neuer selbstständiger Erregungspunkt auftreten kann, sondern die Welle in einem ganz gleichförmigen Körper sich fortschreitend verbreitet, ohne je zurück zu kehren, denn jedes zusammen gedrückte Theilchen übt zwar sowohl nach außen, als nach innen einen Druck auf die benachbarten Theilchen aus, aber nur der erste kann die Fortpflanzung der Bewegung bei den ruhenden zur Folge haben, weil der letztere dazu verwendet wird die im Vorwärtsbringen begriffenen nachfolgenden Theilchen zur Ruhe zu bringen. — Jede den Erregungspunkt als Zentrum umgebende Welle hat also die Gestalt einer Kugelschale und besteht aus einem verdichteten und einem verdünnten Theile; die Dicke der Schale, gemessen auf dem Kugelradius, ist die Länge einer Welle, in welcher jedes Theilchen einen viertheiligen Weg in der Richtung eines Kugelradius zurück legt. Die Längen bleiben sich für jede Entfernung vom Zentrum gleich; bei einer momentanen Störung des Gleichgewichtes im Zentrum ist sie es auch an jeder Stelle des Körpers, natürlich an den entfernteren später, als an den näheren.

In der Wirklichkeit kommt es nicht vor, daß eine momentane Erschütterung von einem einzigen Punkte ausginge. Sind aber mehre Erregungspunkte, so gehen von jedem derselben als von einem eigenthümlichen Mittelpunkte Wellen aus und verbreiten sich kugelförmig in dem Körper zu einer aus der Vereinigung aller ursprünglich entstandenen mittleren Schwingungsbewegung, welche um so mehr die Kugelgestalt annimmt, je weiter sie geht. Nämlich die Wellenbewegungen der den Ort der Erregung zunächst umgebenden Luftmasse werden ihrer Richtung und Intensität nach so mannigfaltig sein, als man sich verschiedene Punkte mit eigenthümlichen Schwingungen denken kann. Je größer aber die Entfernung von der Erregungsstelle ist, desto mehr verlaufen sich gleichsam die einzelnen Wellen in einander und bilden endlich in einer gewissen Entfernung, welche sich nach der Menge der Erregungspunkte und der Stärke ihrer Bewegung richtet, eine mehr oder weniger gemeinsame und auf diese Weise wirksame Bewegung, deren Dauer von der Zeit abhängt, welche die von den einzelnen Mittelpunkten ausgehenden Schwingungen brauchen. Wegen des Beharrungsvermögens der Theile des Körpers und der immer größeren Menge derselben, welchen diese Bewegung mitgetheilt wird, muß sie mit der Zunahme der Entfernung vom Erregungspunkte immer kleiner werden und endlich ganz verschwinden, wenn nicht eine neue Erregung statt findet. Diese tritt bei der obigen Erscheinung, wie bei anderen, z. B. einer Pulverexplosion nicht ein.

b) Stehende Kugelwellen. Werden die Theilchen eines sehr elastischen festen Körpers auch nur momentan aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht, so kehren sie doch nur durch eine nach dem Grade der Erregung größere oder geringere Reihe isochronischer Schwingungen dahin zurück und rufen hierbei in dem umgebenden Mittel auf eine mechanische Weise eine ganz eben solche Reihe isochronischer Schwingungen hervor. Wenn nämlich die Theilchen eines schwingenden Körpers bei ihren Exkursionen hin und wieder gehen, wirken sie beim Hingange auf die umgebende Luft, wenn sie das Mittel der Fortpflanzung ist, nach der einen Seite hin zusammendrückend, eröffnen aber beim Rückgange einen leeren Raum, der ihnen gestattet sich augenblicklich darin wieder auszudehnen. Dieser Vorgang findet bei allen nachfolgenden isochronischen Schwingungen statt, bis der Körper in Ruhe kommt. Dadurch, daß die dem Erschütterungspunkte nächsten komprimirten Lufttheilchen auf die benachbarten drücken und so progressiv weiter, drängt immer eine Kugelwelle die andere, vom Mittel-

punkte so lange ausgehend, als die Schwingungen des elastischen Körpers fortwähren. Die Zahl der Luftschwingungen muß also dieselbe sein, wie die beim schwingenden Körper, indem jede neue Schwingung des letzteren mechanisch auf die Luft einwirkt. Wegen der gleichbleibenden Dauer der Oszillationen innerhalb der Luftwellen und der gleichförmigen Geschwindigkeit, womit jede einzelne Welle fortschreitet, müssen sich Kugelwellen von durchaus gleichen Dicken bilden, so daß jede nachfolgende genau denselben Ort einnimmt, welchen die verdrängte einnahm und die Stellen der Knoten und Baüche bestimmte sind.

Zur Erlaüterung diene folgende Betrachtung: Jedes Lufttheilchen a (Fig. 98.) vollendet seine oszillatorische Bewegung zwischen gewissen Gränzen c und b so, daß es 1) von a nach b mit verzögerter, 2) von b nach a mit beschleunigter, 3) von a nach c mit verzögerter, 4) von c nach a mit beschleunigter Bewegung geht und alle Theilchen zwischen c und b wie m, n, o haben gleichzeitig dieselbe Bewegung, erreichen gleichzeitig die Gränzen ihrer Bahnen, nur daß die Oszillationsamplituden um so kleiner werden, je näher sie dem Maximum der Verdichtung liegen (ab > mp > nq > or, wobei am = mn = no = ob angenommen ist), alle kehren auch gleichzeitig in ihre Gleichgewichtslage zurück und darüber hinaus, um das Maximum der Verdünnung an derselben Stelle zu bilden, wo das Maximum der Verdichtung lag: Knoten. Der Punkt a, welcher in der Mitte zwischen zwei benachbarten Knotenstellen liegt, hat die größte Oszillationsamplitude, erleidet aber weder Verdichtung noch Verdünnung: Bauch.

Die Bewegungsart eines Punktes entspricht zwar sehr der des Pendels, ist aber eine gradlinige. Der einmalige Weg zwischen den entferntesten Punkten b und c seiner Bahn ist die Länge einer einfachen Schwingung, d. i. die Entfernung von einem Maximum der Verdichtung bis zum nächsten Minimum auf demselben Radius der Kugelwelle; der Hin- und Rückweg eine Doppelschwingung, deren Länge die Entfernung von einem Dichtigkeitsmaximum bis zum nächsten ist. — Was hier die Länge einer einfachen Schwingung ist, kann bei den Kreiswellen mit der Breite des Wellenberges oder der Breite des Wellenthales verglichen werden und die Länge der Doppeschwingung ist der Breite der ganzen aus 4 Theilen bestehenden Welle vergleichbar.

III. Schall-Lehre (Akustik).

A. Schall überhaupt. a) Bedingungen für den Schall und seine Wahrnehmung. Wenn in einem mit unserem Gehörorgane in Verbindung stehenden Körper das Gleichgewicht auf kräftige Weise einmal oder minder intensiv durch rasch genug auf einander folgende Schwingungen eines Körpers oder seiner Theile wiederholt gestört wird, so nehmen wir einen Schall wahr. Der Schall ist also nichts Konkretes, sondern er giebt nur den Begriff für einen gewissen Bewegungszustand der Körper an: die durch unser Gehörorgan zum Bewußtsein gebrachten Schwingungen eines Körpers nennen wir Schall. Die Wahrnehmung eines Schalles irgend einer Art ist nur dadurch möglich, daß ein schwingender Körper, dessen Theilchen momentan aus ihrer natürlichen und in Beziehung auf einander ruhigen Lage gebracht worden, durch eine Reihe von gleichzeitigen oder ungleichzeitigen und hinlänglich rasch auf einander folgenden Schwingungen in seinen ruhigen Zustand zurückkehrend, die an ihm hervorgebrachte schwingende Bewegung seiner Umgebung mittheilt, welche nach ihren Eigenschaften mehr oder weniger im Stande ist, sie bis in unser Gehörorgan fortzupflanzen und so in ihm durch ganz analoge Schwin-

gungen die verschiedenen Arten des Schalles zur Wahrnehmung zu bringen. Sind die Schwingungen des Körpers ungleichmäßig, so vernehmen wir auch einen verworrenen Schall, und um so mehr, je näher das Ohr dem Orte der Erregung ist.

Ein in großer Nähe angehörtes stark besetztes Musikstück macht oft einen nicht angenehmen Eindruck, während in größerer Entfernung die Ungleichheiten der Schwingungsbewegungen mehr und mehr in einander verschwimmen.

Der am meisten verbreitete Körper, welcher die Wahrnehmung des Schalles vermittelt, ist freilich die atmosphärische Luft, aber unzweideutige Beobachtungen zeigen, daß außer ihr auch alle anderen Körper und manche in weit stärkerem Grade, als sie, geeignet sind, diese Vermittelung zu bewirken. Wenn mit der Dichtigkeit eines Mittels seine Elastizität zunimmt, so kann man sicher behaupten, daß die Stärke der Fortpflanzung damit in gradem Verhältnisse stehe.

Ist demnach ein Körper, dessen Theilchen schnell genug in Bewegung gesetzt sind, um einen vernehmlichen Schall hervorzubringen, so viel als möglich abgeschieden von allen äußeren Umgebungen in einem luft- und dunstleeren Raume, so verschwindet bei guten Vorrichtungen jede Wahrnehmung von einem Schalle.

Schlagwerk unter dem Rezipienten der Luftpumpe. — Ätherdämpfe. Auf den Gipfeln sehr hoher Berge (wo überdies die freie Verbreitung nichts hindert), ist der Schall bedeutend schwächer, als auf ebener Erde in geringerer Höhe. (Sanssure auf dem Gipfel des Montblanc).

In verdichteter Luft dagegen hört man den Schall stärker, als in gewöhnlicher oder verdünnter. — Beobachtungen von s'Gravesand in den Windgewölben des devoner Eisenwerkes bei Alloa; in einer Taucherglocke, welche in die Meerestiefe herabgesenkt worden.

Ebenso pflanzt sich der Schall in den festen Körpern, Holz, Metall u. s. w. und zwar oft besser fort, als in der Luft; im Wasser ist die Fortpflanzung weniger gut; durch Dünste findet sie ebenfalls statt. — Eine gehende Taschen-Uhr hört man an dem einen Ende eines langen Balkens, wenn sie auf das andere Ende gelegt wird; entfernte Fußtritte hört man leicht, wenn man das Ohr auf die Erde legt — die Wilden; die Kanonade von Antwerpen im Jahre 1830 wurde im sächsischen Erzgebirge gehört; eine angeschlagene und auf die Zähne oder den Schädel gesetzte Stimmgabel oder einen mit den Zähnen an einem Faden gehaltenen und angeschlagenen silbernen Löffel vernimmt man selbst bei fest zugestopften Ohren; das Hören der Tauben, wenn sie einen Stab auf ein gespieltes Klavier und an das Ohr halten; das Arbeiten in Bergwerken und Minen. — Fische haben Gehörorgane und kommen auf ein außerhalb mit einer kleinen Glocke gegebenes Zeichen in die Nähe des Ufers: das Zusammenschlagen von Steinen im Wasser oder das Anschlagen einer Glocke hört man in und außerhalb desselben, sowie den Knall eines außerhalb abgeschossenen Gewehres in einer Tiefe von etwa 12 Fuß. — Ein an einem Fädchen in einer blos mit Dünsten erfüllten Kugel hängendes Glöckchen wird ganz gut gehört.

b) Gleichzeitige Verbreitung eines mehrfachen Schalles. Wir sind gewohnt mehre Arten des Schalles, welche von verschiedenartigen Schwingungen der Körper abhängen, zu gleicher Zeit wahrzunehmen und finden es durchaus nicht auffallend. Dieser Umstand ist auch für die Luft daraus leicht erklärlich, weil sie ein ungemein feiner, beweglicher und elastischer Körper ist, der mehre Arten von Schwingungen, welche in Betreff der mehr oder minder raschen Aufeinanderfolge und ihrer Größe äußerst

ungleich sein können, im Stande ist aufzunehmen und bis zu unserem Gehörorgane fortzupflanzen, ohne daß eine der anderen in ihrer Verbreitung hinderlich ist. Aber auch andere Körper als Luft sind für die gleichzeitige Verbreitung eines mehrfachen Schalles geeignet, was theils auf ihre Elastizität, theils auf ihre Porosität schließen läßt.

Jenachdem nun die verschiedenartigen Schallwellen eine mehr übereinstimmende und gemeinschaftliche Bewegung, die sich an eine Hauptbewegung anschließt, annehmen oder verworren durcheinander kreuzen, bringen sie in uns eine mehr oder weniger angenehme oder auch unangenehme Empfindung hervor; so wie bei ruhigem Meere Woge auf Woge spielen kann, während dieselben bei Sturm mit Ungestüm einander durchbrechen.

Außer der Verbreitung wirklich verschiedener Arten des Schalles ist noch eine andere bemerkenswerth, welche sich auf die mannigfaltigen Modifikationen eines Schalles derselben Gattung z. B. die Verschiedenheit der menschlichen Stimmen, der musikalischen Instrumente und dergl. bezieht. Diese spezifische Verschiedenheit eines seiner inneren Natur nach unabänderlich bestimmten Schalles oder diese Modifikationen und Artikulationen eines bestimmten Schalles beruhen wohl auf kleinen Verschiedenheiten des Grades der Verdichtung in den Schallwellen und der Geschwindigkeit, mit welcher ihre Theile aus der Gleichgewichtslage verrückt werden. Es läßt sich denken, daß die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der einzelnen Schallwellen eine bestimmte ist, daß aber die Moleküle im Inneren einer jeden Schallwelle eine Verschiedenheit ihrer Bewegung zeigen.

c) Stärke des Schalles, abhängig α) vom schallenden Körper. In einem bestimmten Mittel ist die Stärke abhängig

1) von der Menge der schallenden Masse; denn je größer diese ist, desto mehr Theile des umgebenden und fortpflanzenden Mittels, meist der Luft, werden durch sie in Bewegung gesetzt und desto heftiger muß auch die Bewegung in jeder an unser Ohr gränzenden Luftpartie so wie die durch sie im Ohre hervorgebrachte Erschütterung sein.

Stahlstreifen können auf Thürmen die Glocken für größere Entfernungen nicht ersetzen. Schüße aus Kanonen, Flinten, Pistolen. Knall von langen und kurzen Peitschen.

2) Von der Stärke der Schwingungen des schallenden Körpers selbst oder von der Weite der Exkursionen, welche die Theilchen bei ungeänderter Zeitfolge der einzelnen Schwingungen machen, indem weitere Schwingungen bei übrigens gleichen Umständen in den angränzenden Lufttheilchen (in den Schallwellen) unfehlbar eine größere Verdichtung und Verdünnung hervorbringen, als engere, welche mit jenen dieselbe Schwingungszeit haben.

Eine stark angestrichene Violinsaite hört man weiter, als die schwach angestrichene. Das Forte und Piano. Das Dämpfen durch die Sardine bei der Violine. Das Überziehen der Pauken und Trommeln mit verschiedenen Zeugen.

3) Von der Anzahl und Gleichmäßigkeit der Schwingungen, die bei gleichbleibender Intensität in einer gewissen Zeit erfolgen. Das heißt nichts anderes, als daß von zwei schallenden Körpern, welche so schwingen, daß jede einzelne Schwingung bei beiden die Luft mit einerlei Kraft in Bewegung setzt, jener stärker schallt, welcher in einer bestimmten Zeit mehr Oszillationen macht.

Eine Diskantstimme ist durchdringender, als eine Baßstimme.

β) **Schallstärke, abhängig von dem fortpflanzenden Mittel.** Sie hängt direkt ab von der Zunahme seiner Dichtigkeit, Elastizität und der Gleichförmigkeit seiner Beschaffenheit.

In höheren Schichten der Atmosphäre ist also der Schall deßhalb schwächer, als in tieferen, weil dort die Anzahl der erschütterten Luftmoleküle geringer ist, als hier; in einer tief unter dem Wasserspiegel befindlichen Taucherglocke ist er unerträglich stark; im Wasserstoffgase ist er schwach. Durch Holz wird er stärker, als durch Luft, durch Metall stärker, als durch Holz fortgepflanzt, u. s. w. In feuchter nebliger Luft ist die Fortpflanzung schwächer, als in trockener und mehr elastischer. Eine bekannte Erfahrung ist es ferner, daß sich der Schall in der Nacht und im Winter besser fortpflanzt als am Tage und im Sommer. Biot konnte seine Schallversuche an den pariser Wasserleitungen nur in der ruhigsten Nachtzeit zwischen 1 und 2 Uhr anstellen. Soll man die Ursache davon blos darin suchen, daß die Wahrnehmung eines bestimmten Schalles durch das mannigfach durcheinander gehende Geraüsch der Stadt gehindert wurde? Nehmen wir aber noch eine andere Erfahrung dazu! A. v. Humbold vernahm das Getöse der Wasserfälle vom Orinoko bei Nacht wohl dreimal stärker, als am Tage — in einer Einöde, wo nichts die Ruhe der Natur unterbricht. Demnach ist es wohl der Strom aufsteigender Luft, welcher am Tage der Fortpflanzung des Schalles hinderlich ist und der nach der nächtlichen Erkaltung der Erdrinde aufhört, so daß die Luft gleichförmiger elastisch wird. Im Winter trägt theils die niedrigere Temperatur, durch welche die Luft dichter wird, theils die Gleichförmigkeit der Erdoberfläche wegen der Schneedecke und wegen des Mangels an Vegetation zur Vermehrung der Stärke des Schalles bei. — In Polargegenden hat man die menschliche Stimme schon bis auf 7000 Fuß vernommen.

d) **Abnahme der Stärke des Schalles.** Die Stärke eines bestimmten Schalles nimmt nothwendig ab

1) mit der Zunahme der Entfernung, weil die Schallwellen sich kugelförmig vom Erschütterungspunkte aus verbreiten und jede vorangehende der ihr nachfolgenden, weiter vom Mittelpunkte entfernten und deßhalb größeren die ihr eigenthümliche Intensität mittheilt, welche nun, auf eine größere Masse vertheilt, einen schwächeren Erfolg zeigen muß, indem bekanntlich die Stärke des Schalles von der Menge der in Erschütterung gesetzten Masse und von der Stärke der Schwingungen abhängig ist. Die Bewegungen also und die momentanen Veränderungen in der Dichtigkeit der Schallwellen müssen in dem Maße, als sie sich vom Mittelpunkte entfernen, schwächer werden, und so einen immer schwächeren Schall veranlassen. Die Mathematik giebt aus der Lehre von der Kugel das Gesetz, **daß die Verminderung der Schallstärke nach dem Quadrate der Entfernung vom Erschütterungspunkte aus fortschreitet.**

Die Erfahrung bietet keinen sicheren Maßstab dar. — Vergl. S. 20.

2) Ferner erleidet der Schall eine Schwächung, wenn er durch verschiedene Mittel geht, weil in diesem Falle die Schallwellen zum Theil ihre Richtung verlassen, indem sie gebrochen oder zurückgeworfen werden.

3) Auch wird der Schall geschwächt, wenn er von höheren Schichten der Atmosphäre nach tieferen geht, weil wegen größerer Dichtigkeit der letzteren die ursprüngliche Größe der Bewegung sich darin unter eine größere Anzahl von Theilchen zu vertheilen hat, als wenn die Dichtigkeit dieselbe wäre. Dagegen muß natürlich die Schwächung für einen gewissen Abstand weniger betragen bei der Fortpflanzung des Schalles von den unteren Schichten nach den oberen.

4) Die Entfernung, bis auf welche ein Schall in einem blos mit Luft gleichmäßig erfüllten Raume sich verbreitet, hängt nur von seiner absoluten Stärke ab. Ist die Luft im Zustande der Ruhe, so ist die Intensität des Schalles nach allen Richtungen eine gleiche; ist sie aber in Bewegung, so nimmt die Stärke nach der Richtung der Bewegung zu, indem durch den Andrang der Luft die Menge der in Schwingungen versetzten Theilchen wächst. Auch wird er in der Richtung, nach welcher er erzeugt wird, z. B. bei einer Kanone in der verlängerten Axe des Rohres, stärker wahrgenommen, als in anderen Richtungen.

e) Gleichförmige Geschwindigkeit des Schalles. Wenn auch die Stärke des Schalles mit zunehmender Entfernung von dem Erregungspunkte abnimmt, so bleibt doch die Geschwindigkeit seiner Fortpflanzung in allen horizontalen Richtungen eine gleichmäßige, d. h. die durchlaufenen Raüme verhalten sich wie die Zeiten, der Schall mag schwach oder stark, die Anzahl der Schwingungen mag in einer bestimmten Zeit klein oder groß sein, das Wetter mag trübe oder heiter, neblig oder hell sein, man mag die Versuche bei Tage oder bei der Nacht und zu jeder beliebigen Jahreszeit anstellen; man mag sich in der Richtung, in welcher der Schall hervorgebracht wird, befinden oder nicht, wenn nur die Luft entweder vollkommen ruhig ist oder eine ganz gleichförmige Bewegung hat und die Fortpflanzung in grader Richtung betrachtet wird. Der Grund davon liegt in dem gleichmäßigen Fortschritte einer jeden Kugelwelle in einem bestimmten Mittel, nicht blos in der Luft. Da aber durch den Wechsel der Temperatur die spezifische Elastizität oder das Verhältniß der absoluten Elastizität zur Dichtigkeit verändert wird, so muß derselbe auch die Geschwindigkeit des Schalles ändern und zwar die Vermehrung der Wärme muß sie vermehren.

In höheren Regionen hat also die größere Kälte eine langsamere Fortpflanzung zur Folge, so wie in derselben Region eine Abnahme der Temperatur dasselbe bewirkt. Wir wissen nun, daß bei einerlei Dichtigkeit und Elastizität der Luft Kälte die Intensität des Schalles steigert, Wärme sie vermindert; nun kommt dazu, daß die Kälte der Schnelligkeit der Verbreitung oder Extensität hinderlich, die Wärme förderlich ist. Es bleibt demnach für einen bestimmten Schall die Quantität seiner Bewegung eine unveränderliche Größe.

f) Absolute Geschwindigkeit des Schalles. Alle bisherigen Erscheinungen sind Folgerungen aus den physikalischen Eigenschaften der Körper und namentlich auch der Luft, sie müssen sich also nach den Gesetzen der Mechanik mit Schärfe berechnen und vorher bestimmen lassen. Man findet aus ihnen, daß sich der Schall in einer homogenen luftförmigen Flüssigkeit von beständiger Dichtigkeit und Temperatur und bekannter, durch den Druck einer Quecksilbersaüle von bestimmter Höhe gemessenen Spannkraft allmählig und mit gleichmäßiger Bewegung fortpflanzt. Der analytische Ausdruck für die absolute Geschwindigkeit zeigt aber, daß ihr Quadrat der Spannkraft des flüssigen Mittels grade und seiner Dichtigkeit umgekehrt proportionirt ist. Da nun nach Mariotte's Gesetz sich bei gleichbleibender Temperatur die Spannkraft eines Gases der Dichtigkeit proportional abändert, so folgt daraus, daß die Geschwindigkeit für dasselbe Gas bei einerlei Temperatur stets dieselbe bleibt, wie sich auch die Dichtigkeit abändert. Es müßte demnach auch, wie schon bemerkt, die

Geschwindigkeit in allen horizontalen Schichten dieselbe sein, wenn die Temperatur dieselbe wäre. So hat man nun durch die Theorie gefunden, daß die Geschwindigkeit des Schalles dieselbe ist, wie die, welche ein Körper erlangen würde, der von der halben Höhe der Atmosphäre herabfiele, wenn diese durchaus gleiche Dichtigkeit mit der Luft an dem Orte hätte, wo der Schall fortgepflanzt wird. Da die Dichtigkeit der Luft dem Drucke, den sie erleidet, proportional ist, so ist in der That die Höhe der Quecksilbersaüle im Barometer, dividirt durch die Dichtigkeit, welche durch diesen Druck bewirkt wird, eine beständige Größe und da die Höhe der Atmosphäre, wenn sie durchaus einerlei Dichtigkeit hätte, der ganzen Schwere der Luft, dividirt durch die Dichtigkeit, gleich sein würde, so kann die Höhe des Barometerstandes in der Geschwindigkeit der Fortpflanzung nichts verändern. — Nach diesen theoretischen vielfach geprüften Untersuchungen hat man die Geschwindigkeit des Schalles beim Gefrierpunkte für die Sekunde 279,29 Meter oder 889′ 9″ pariser Maß gefunden.

Zur praktischen Ermittelung der Geschwindigkeit des Schalles hat man viele Versuche und manche mit der sorgfältigsten Genauigkeit, unter Berücksichtigung aller nur denkbaren Umstände, angestellt. Die Mitglieder der Akademie der Wissenschaften zu Paris gaben (1738) den mittleren Werth der Geschwindigkeit für eine Zeitsekunde auf 337,18 Meter (nahe 1028 pariser Fuß) an; Biot 1026 F. beim Gefrierpunkte, Benzenberg 1027 und die Mitglieder des Bureau des longitudes (1822) zu Paris auf 174,9 Toisen oder 340,88 Meter = 1049 pariser = 1086 rheinl. Fuß in einer Sekunde. Diese Resultate gelten für ganz ruhige Luft.

Ist sie bewegt und hört man den Schall genau nach der Richtung der Bewegung, so wird die absolute Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Unterschied zwischen seiner scheinbaren Schnelligkeit und der des Windes in der bestimmten Zeit sein, welche vom Momente der Erregung bis zum Momente der Wahrnehmung vergeht; sind aber beide Bewegungen einander am meisten hinderlich oder grade entgegen gesetzt, so muß man die Summe beider nehmen. Befindet sich der Beobachter in einer gegen die Richtung des Windes schiefen Stellung, so muß die beobachtete Geschwindigkeit des Schalles vermehrt oder vermindert werden um den Theil der Geschwindigkeit des Windes, den die Zerlegung des Parallelogramms der Kräfte aus der den Schall fortleitenden Linie angiebt.

Wenn man beim Abblitzen einer hinreichend entfernten Kanone sich augenblicklich zur Erde wirft, so kann man der Gefahr getroffen zu werden entgehen. Bestimmung der Entfernung eines Gewitters; eines Schiffes aus seinen Schüssen.

Die aus der Theorie gefundene Geschwindigkeit des Schalles ist fast um $\frac{1}{5}$ kleiner, als die beobachtete. Biot hat zu zeigen gesucht, wie bei der vollkommen streng von den größten Mathematikern durchgeführten Theorie die Ursache davon auf der Modifikation des Grundgesetzes beruhen müsse, worauf man Alles baut, und wie nämlich die kleinen Vibrationen bei der Schallverbreitung wirklich eine fast unbemerkbare Abweichung von dem mariotteschen Gesetze veranlassen könnten. Bei Berechnung der Spannkraft der Luft habe man die Wärme nicht beachtet, welche bei den momentanen Verdichtungen, durch die der Schall sich verbreitet, frei und durch die folgende Ausdehnung wieder gebunden werde; durch sie werde eine Änderung in der spezifischen Elastizität der bewegten Lufttheilchen hervorgebracht und man dürfe die Elastizität nicht der Dichtigkeit proportional setzen, weil

dieses Gesetz nur dann gelte, wenn die Temperatur nach geänderter Dichtigkeit dieselbe bleibe. — Man könne übrigens dann auch aus der durch die Erfahrung gefundenen Geschwindigkeit des Schalles die Menge der entbundenen Wärme ableiten und finde so, daß die Temperatur um 1 ° C. sich erhöhe, wenn die Luft um $\frac{1}{116}$ ihres Volumens zusammen gedrückt werde. Biot will diese Hypothese durch die Thatsache beweisen, daß der Schall, wie er selbst zuerst ausgemittelt hat, auch in bloßen Dünsten nach Entfernung aller Luft sich erzeugen und fortpflanzen läßt. Nun würde dies den Grundbedingungen des Dunstzustandes zufolge auf keine Weise statthaben können, wenn die durch die Erschütterung des schallenden Körpers periodisch hervorgebrachten Verdichtungen nicht in demselben Augenblicke eine Entbindung von Wärme und demzufolge eine Temperaturerhöhung in den Dünsten veranlaßten, durch welche die Flüssigkeit im elastischen Zustande erhalten zu werden vermag, weil sonst die durch die Exkursionen zusammen gedrückten Theile der zusammen drückenden Kraft nur nachgeben könnten und sich in tropfbare Flüssigkeit verwandeln würden, wodurch dann keine weitere Fortpflanzung der Erschütterung zu anderen entfernteren Theilen stattfinden könnte, welche doch die Grundbedingung der Verbreitung und Wahrnehmung des Schalles ausmacht. Man muß hierbei festhalten, daß in einer Schallwelle die Verdichtung und Wärmeerzeugung in demselben untheilbaren Augenblicke eintreten, also auch die vermehrte Schnelligkeit des Schalles.

Die Geschwindigkeit ist in verschiedenen Körpern verschieden: in tropfbaren Flüssigkeiten ist sie größer, als in Luftarten und Dämpfen, im Wasser z. B. 4600 Fuß (Colladon im Gempfersee) und in den festen Körpern wieder noch größer, z. B. im Eisen gegen 10mal größer, als in der atmosphärischen Luft (Biot an den pariser Wasserleitungen). — Beim Holze ist die Geschwindigkeit nach der Richtung der Fasern größer, als nach der entgegen gesetzten. — Krystalle. Die Fortpflanzung des Schalles in Flüssigkeiten ist ein Beweis für deren Elastizität.

g) Hindernisse der Schallverbreitung. Man kann der allseitigen Verbreitung des Schalles Hindernisse in den Weg setzen. Diese können entweder von der Erregungsstelle beginnen oder in einer beliebigen Entfernung vorhanden sein.

α) Im ersten Falle kann der Schall

1) durch eine zylindrische Röhre (Kommunikationsröhre) aufgenommen werden und sich nur durch die in ihr enthaltene zylindrische Luftsäule fortpflanzen, indem die Schallwellen wiederholt von den inneren Röhrenwänden zurückgeworfen werden. Dadurch wird der Schall bis zu sehr großen Entfernungen ohne merkliche Schwächung fortgepflanzt.

Biot sagt von den 951 Meter (2927½ par. F.) langen Röhren zu den Wasserleitungen in Paris: Worte, so leise gesprochen, als wenn Jemand dem Anderen etwas ins Ohr sagt, wurden am anderen Ende noch gehört und verstanden, so daß es, wenn Einer den Andern gar nicht mehr hören sollte, blos das einzige Mittel gab, gar nicht mehr zu sprechen. — Die Wasserleitung des Klaudius soll den Schall mehre italienische Meilen fortgepflanzt haben. — Praktische Anwendung von Kommunikationsröhren in Häusern und Schiffen. — Das sogenannte unsichtbare Mädchen oder der wahrsagende Türke.

2) Es kann der Schall durch ein kegelförmiges Rohr aufgenommen werden entweder an der engeren Seite (Sprachrohr) oder an der weiteren (Hörrohr).

Im ersten Falle werden die durch das Hineinsprechen erregten Luftschwingungen sich sogleich vom Munde aus nach allen Richtungen zu verbreiten gehindert und vielmehr genöthigt, eine mit der Axe des kegelförmigen Sprachrohres mehr parallele Richtung anzunehmen, in welcher also auch die Lufttheilchen mehr und heftiger in Bewegung sind, als in der weiteren Umgebung, wodurch der Schall nach dieser Richtung stärker werden muß.

Als ein Bild, wenn auch in anderer Rücksicht, kann die noch lange im Meere nach der Mündung eines Flusses sichtbare Strömung dienen. Eine starke Männerstimme wird dadurch noch bis auf 1800 Fuß vernehmbar.

Im zweiten Falle werden die durch die inneren Wände des Rohres zurückgeworfenen Schallwellen mehr und mehr verdichtet, so daß sie an der engeren Mündung das Ohr weit heftiger affiziren, als es ohne das Rohr geschehen würde.

Die Ohrmuschel der Saügethiere. Das Ohr des Dionysius.

β) Sodann kann das Hinderniß der freien Fortpflanzung des Schalles in einiger **Entfernung** von dem Orte der Erregung sein. Bis zu ihm bewegen sich dann die Schallwellen auf die bekannte Weise fort ohne Rücksicht auf das gegenüber stehende Hinderniß. Ist aber die fortschreitende Verdichtungswelle bis an die gegenüber stehende Hinderungsfläche gelangt, so wird sie als ein elastischer Körper unter dem Einfallswinkel zurückgeworfen und verbreitet sich eben so in rückwärts gehender Bewegung und mit einer Intensität, als wäre der Erregungspunkt (wenn wir uns einen einzigen denken) für sie eben so weit hinter der Fläche, als er in der That vor ihr liegt. Daß sich die Richtung, in welcher der Schall am stärksten zurückgeworfen wird, nach der Lage und Gestalt der dargebotenen Fläche in Beziehung auf den Erregungspunkt richtet, bedarf kaum der Erwähnung.

1) Ist die gegenüber stehende Wand nahe, so fällt der zurückgeworfene Schall fast mit dem ursprünglichen zusammen und kann wegen der zu kurzen Zwischenzeit nicht als ein selbstständiger vernommen werden; er verstärkt ihn zwar, macht ihn aber auch undeutlicher: **Nachhall**.

Den Nachhall findet man in etwas großen, namentlich leeren Zimmern. Zur Vermeidung seines störenden Einflusses in Sälen, Kirchen u. a. bekleidet man die Wände mit unelastischen, rauhen Körpern, bringt Zierrathen und drgl. an, füllt auch wohl hohle Raüme mit Sägespänen aus. In tapezirten oder mit verschiedenen Sachen behangenen Zimmern ist der Nachhall auch geringer. — Der Nachhall ist in einem gewissen Grade für das gute Vernehmen des Gesprochenen erforderlich.

2) Bei größerer Entfernung der gegenüber stehenden Fläche erscheint der zurückgeworfene Schall als ein selbstständiger und heißt **Wiederhall** oder Echo. Das Echo ist ein **einfaches**, wenn man einen hervorgebrachten Schall nur noch einmal hört, ein **mehrfaches**, wenn sich der Schall öfters wiederholt. Dort ist nur eine zurückwerfende Fläche nothwendig, hier zwei oder mehre. Jedes dieser Echos kann **ein-** oder **mehrfilbig** sein, je nach dem man einen oder mehre schnell auf einander folgende Laute sich wiederholen hört.

Die Größe der Entfernung, welche eine gegenüber stehende Fläche haben muß, um ein einfaches und einsilbiges Echo hervorzubringen, bestimmt

man dadurch, daß man die **Zahl der Fuße**, welche der Schall in einer Sekunde zurücklegt, durch die doppelte **Anzahl der Laute**, die man in einer Sekunde vernehmlich von einander unterscheiden kann, theilt.

Nimmt man 1024 Fuß = 32 . 32 F. für den Weg des Schalles in einer Sekunde an und 8 als die Menge der Laute oder Silben, welche man noch hinreichend deutlich in einer Sekunde hervorbringen und von einander unterscheiden kann; so ist 2 . 8 : 32 . 32 = 64 F. die geringste Entfernung, die sowohl der schallende Körper, als auch der Zuhörer haben muß von dem Orte, von welchem der Schall zurück geworfen wird. Die Stellung der reflektirenden Fläche bestimmt auch die Stellung zwischen jenen beiden. In $\frac{1}{8}$ Sekunde durchlauft der Schall 128 F. und dies ist überhaupt der Überschuß, um welchen wenigstens der Weg des zurück geworfenen Schalles länger sein muß, als der grade vom schallenden Körper bis zum Zuhörer.

Weil nun der zurück gehende Schall sich eben so schnell und gleichmäßig bewegt, wie der hingehende, so ist es nicht schwer vermittelst einer genauen Tertienuhr aus der Zeit, die zwischen einem augenblicklichen Schalle und seinem Echo verfließt, so ziemlich genau auf die Entfernung der entgegen stehenden Fläche zu schließen. — Es ist nicht nöthig, daß die reflektirende Fläche eine harte und glatte sei; denn ein Wald mit dichten Baümen, dichte Gewitterwolken oder selbst auf- und niedersteigende Luftströmungen bewirken ein Echo. — Sowie Schallwellen aus einem Mittel in ein anderes namentlich dichteres übergehen, erleiden sie eine theilweise Zurückwerfung. In sehr langen Gängen kann die Zurückwerfung sogar von einer sich darin bildenden ruhenden Luftschicht geschehen. — Erscheinungen zwischen zwei parallelen; zwischen verschieden geneigten Ebenen. Auf der Villa Simonetta bei Mailand wird ein Pistolenschuß gegen 40 mal gehört; ein Echo zwischen Koblenz und Bingen wiederholt ein Wort 17 mal, eines bei Verdün 13 mal; Echo bei Adersbach in Böhmen; bei der St. Georgenabtei zu Rom.

3) Endlich kann der Schall durch die eigenthümliche Gestalt des zurückwerfenden Körpers an eine bestimmte Stelle getragen werden, außerhalb welcher er gar nicht oder doch nur sehr wenig vernehmlich ist. Dies ist bei parabolisch oder elliptisch gekrümmten **Gewölben** der Fall.

Erscheinungen bei kugelförmig gekrümmten Gewölben; die Kuppel in der Peterskirche zu Rom, in der Paulskirche zu London. Elliptische Sprachgewölbe; der Sprechende im Brennpunkte eines parabolischen Gewölbes; das Ohr des Dionysius.

Die gewöhnlichsten Erfahrungen zeigen, daß sich der Schall auch um feste Körper in krummen Richtungen verbreitet oder hinter entgegen stehenden festen Körpern gehört wird. Die Möglichkeit davon sieht man leicht ein, weil die Luft nach allen Seiten wegen ihrer großen Elastizität für die Schallverbreitung fähig ist und jeder Punkt einer Schallwelle wieder als ein neuer Mittelpunkt nicht des Schalles (weil dieser für eine momentane Erregung im freien Raume auch nur momentan ist), sondern eigentlich nur der Schallverbreitung angesehen werden darf für solche Raüme, von denen aus man nicht direkt zum Erregungspunkte gelangen kann. — Einfluß benachbarter Gegenstände.

B. **Klänge und Töne.** a) **Entstehung und Wahrnehmung eines Klanges.** Läßt man die auf der Peripherie eines kleinen Rades in ungleichen Entfernungen angebrachten Zähne während einer schnellen Drehung an einen harten Körper anschlagen, so entsteht ein verworrenes Geraüsch; sind aber die Zähne gleich vertheilt und geschieht die Drehung

gleichförmig, so erfolgen in gleichen Zeiten auch gleich viele Stöße und wir haben die Wahrnehmung eines **Klanges**. Wenn auch aus der Möglichkeit, wie wir einen Schall wahrnehmen, nothwendig folgt, daß der Anfang und das Ende einer Schallwelle nur wenig Eindruck auf das Ohr machen können, indem hier die Veränderung in der Lage und Dichtigkeit der Luftschichten nur sehr gering sein kann, während die Mitte der Schallwelle eigentlich als affizirend angesehen werden muß; so folgt dennoch, weil unsere sinnliche Wahrnehmung selbst nach dem Aufhören eines von außen veranlaßten Eindruckes noch eine gewisse Zeit hindurch fortdauert, wie es auch andere ganz gewöhnliche Erfahrungen, z. B. mit dem Lichte, beweisen, daß wir bei sehr rasch auf einander folgenden Schwingungen die durch die Mitte der Schallwellen verursachten Eindrücke als etwas Stetiges wahrnehmen, das zugleich als ein Regelmäßiges erscheint, wenn die Stöße und Schwingungen ganz isochron sind. Wird die Anzahl der isochronischen Schwingungen in einer bestimmten Zeit geändert, so erscheint auch ein anderer Klang. Die Beziehung eines Klanges auf einen anderen rücksichtlich der Anzahl der in einer bestimmten Zeit geschehenden Schwingungen giebt die Verschiedenheit der **Töne**; ein Ton ist um so höher, je mehr Schwingungen zu ihm in einer bestimmten Zeit gehören.

So wie die Weite der Exkursionen eines schwingenden Körpers bei gleichbleibender Schnelligkeit der Aufeinanderfolge die Stärke oder Intensität des Schalles bestimmt, so hängt von der Geschwindigkeit die Höhe des Tones, als des regelmäßigsten und reinsten Schalles ab.

b) **Absolute Schwingungszahl eines Tones.** Wie viele Stöße bei der Erzeugung eines bestimmten Klanges erforderlich sind, so viele Schwingungen werden auf mechanische Weise in dem fortpflanzenden Mittel hervorgerufen. Es ist also möglich, die Schwingungszahl für einen bestimmten Ton zu ermitteln. Dazu dienen entweder die oben angeführten gezahnten Metallräder (Savart) oder man bläst durch ein enges Rohr auf eine um ihren Mittelpunkt gleichförmig gedrehte und mit Öffnungen von gleicher Entfernung versehene Kreisscheibe oder man läßt aus einem Behälter mit verdichteter Luft in gleichen Zeiten durch kleine Öffnungen Luftstöße auf die aüßere Luft erfolgen (Syrene von Caginard La Tour), wobei eine Vorrichtung zur genauen Zählung der Stöße angebracht ist.

Das Gehörorgan verschiedener Menschen scheint in einem verschiedenen Grade für die Wahrnehmung der Gränzen der Töne empfänglich zu sein. Man nimmt an, daß 16 Stöße oder Doppelschwingungen, bestehend aus Hin- und Rückgang, in einer Sekunde die geringste, 24000 (das sechsmal gestrichene g) die höchste Anzahl für einen als Ton hörbaren Schall sei, obwohl Manche bei geeigneten Vorrichtungen schon von 8 Vibrationen einen Ton wahrnehmen. Unser Gehörorgan besitzt demnach eine bewundernswerthe Empfindlichkeit für Unterscheidung einer großen Anzahl von Tönen.

Man kann sehr tiefe Töne u. a. dadurch erzeugen, daß man einen graden Stab um eine durch seine Mitte gehende Axe zwischen zwei parallelen ziemlich nahen Brettern dreht.

c) **Dimensionen der Tonwellen in der Luft.** Da die Menge der Schwingungen, welche ein Körper bei der Hervorbringung eines bestimmten Tones macht, sich auf die umgebende Luft in der Art überträgt, daß in ihr Welle auf Welle mit gleichförmiger Geschwindigkeit vorwärts schreitet, so darf man nur, um die Dicke einer einfachen kugelförmigen

Tonwelle (Verdichtungs- oder Verdünnungswelle) in der Luft zu finden, mit der in einer bestimmten Zeit hervorgebrachten Anzahl von Schwingungen oder Stößen in den Weg dividiren, welchen der Schall in dieser Zeit zurück legt.

Wenn wir von dem tiefsten Tone, welcher durch 32 einfache Schwingungen in einer Sekunde erzeugt wird, einerseits durch wiederholte Halbirung dieser Anzahl von Stößen rückwärts, andererseits durch wiederholte Verdoppelung vorwärts gehen und der einfacheren Rechnung wegen annehmen, daß der Schall sich in einer Sekunde durch 1024 = 32 . 32 Fuß fortpflanzt; so ergiebt sich leicht folgende Tabelle:

Anzahl der einfachen Schwingungen in einer Sekunde.	Länge der dadurch hervorgebrachten Verdichtungswellen.	Namen der Töne.
1	1024 par. Fuß	
2	512	
4	256	
8	128	
16	64	
32	32	$\underline{\underline{C}}$ einer 32füßigen offenen Pfeife
64	16	$\underline{C}$, Kontra C
128	8	C, das große C
256	4	c, das ungestrichene (kleine) c
512	2	$\overline{c}$, das einmal gestrichene c
1024	1	$\overline{\overline{c}}$, das zweimal gestrichene c
2048	6 Zoll	das dreimal gestrichene
4096	3 „	das viermal gestr.
8192	18 Linien	das fünfmal gestr.

Für 1 Schwingung in einer Sekunde ist die Länge der einfachen Schallwelle (von dem Minimum bis zum Maximum der Verdichtung) 1024, wie umgekehrt für 1024 Schwingungen die Länge 1′ beträgt; für 32 einfache Schwingungen (oder für 16 Stöße aus Hin- und Rückgang bestehend) ist die Länge der ganzen (Verdichtungs- oder Verdünnungs-) Welle 32′. Man kann überhaupt die zwei Gesetze aufstellen:

1) die Länge der einfachen Schallwellen ist gleich dem Raume, den der Schall während der Dauer einer einfachen Schwingung des schallenden Körpers durchlauft und

2) die Wellendimensionen stehen in umgekehrtem Verhältnisse mit den Schwingungszahlen.

Einen Ton vernimmt man aber nur dann in der seiner Schwingungszahl oder in der den Dimensionen seiner Wellen angemessenen Höhe, wenn sowohl Tonquelle als auch Beobachter ruhen; bewegt sich eines von ihnen, so muß sich der Ton ändern, weil dadurch eine Änderung in den Dimensionen, also auch in der Anzahl der in einer bestimmten Zeit ankommenden Wellen eintritt und zwar muß man den kommenden Ton höher, den gehenden tiefer vernehmen, weil sich im ersten Falle die Wellen verkürzen

und in einer bestimmten Zeit für den Beobachter vermehren, im zweiten Falle verlängern.

Vielfache Bestätigung beim raschen Fahren auf Eisenbahnen. Unterschied zwischen dem direkten und dem von einer Wand reflektirten zugleich gehörten Tone.

Wenn man von den obigen Tönen zwei (oder drei) benachbarte zugleich hört, so haben sie eine gewisse Übereinstimmung, so daß ein minder geübtes Ohr dieselben für identisch ansehen kann. Diese große Ähnlichkeit rührt daher, daß die Mitte der Schallwellen, welche mit ihrem Maximum der Verdichtung eigentlich das Erregende ist, bei diesen Tönen oft genau zusammen trifft. Wenn man die Stellen der größten Verdichtung der Schallwellen durch Punkte darstellt, so kann folgendes Schema als ein Versinnlichungsmittel des Vorganges dienen.

```
.           .           .           .
.     .     .     .     .     .     .
.  .  .  .  .  .  .  .  .  .  .  .  .
.........................................
```

d) Tongesetze bei verschiedenen Körpern.

I. Töne linienförmiger Körper

1) bei Transversalschwingungen von Saiten und Streifen. Schon die einfachsten Wahrnehmungen an gespannten Saiten zeigen uns, daß die an ihnen (durch Zupfen, Schlagen, Streichen, Blasen) hervorgebrachten Töne von ihrer Länge, von dem Grade der Spannung, von der Dicke und von der Beschaffenheit des Stoffes, aus welchem sie bestehen, abhängig sind. Durch Rechnung (Lagrange 1759) sind folgende Gesetze, welche durch die Erfahrung (mit dem Monochord, Einsaitler) bestätigt werden, ermittelt worden.

α) bei gleichartigen Saiten (von demselben Stoffe) derselben Dicke und Spannung verhalten sich die Schwingungszahlen oder Tonhöhen wie umgekehrt die Saitenlängen $S : s = l : L$.

β) Bei gleichartigen Saiten von einerlei Länge und Dicke verhalten sich die Schwingungszahlen wie die Quadratwurzeln aus den Spannkräften $S : s\ \sqrt{K} : \sqrt{k}$.

γ) Bei gleichartigen Saiten von einerlei Länge und Spannkraft verhalten sich die Schwingungszahlen wie umgekehrt die Dicken $S : s = d : D$.

δ) Die Schwingungszahlen von Saiten aus verschiedenen Stoffen verhalten sich bei gleicher Länge, Dicke und Spannkraft wie die Quadratwurzeln aus den spezifischen Gewichten.

Für die ersten drei Gesetze ist die allgemeine Formel $S : s = \frac{\sqrt{K}}{LD} : \frac{\sqrt{k}}{ld}$. — Die Dauer einer jeden einzelnen Schwingung steht im umgekehrten Verhältnisse mit den Schwingungszahlen. — Ist eine Darmsaite mit Metallfäden übersponnen, so bringen diese eine Verzögerung in der Geschwindigkeit hervor, also eine Vergrößerung der Schwingungsdauer oder Verminderung der Schwingungszahl, also eine Erniedrigung des Tones.

Bei einem Metallstabe oder einem Streifen, von welchem das eine Ende eingespannt ist, verhalten sich die Schwingungszahlen wie umgekehrt seine Längen. Bei gleichen Längen giebt der dickere einen höheren Ton; die Breite hat keinen Einfluß.

Es können auch beide Enden befestigt oder das eine befestigt, das andere angestemmt sein u. s. w. — Stahl-, Glas-, Holz-, Strohharmonika; Spieluhren und Spieldosen, die Mundharmonika, Stimmgabel.

Die Tonleiter und die Tonverhältnisse. Nicht alle Töne bringen, wenn sie gleichzeitig oder unmittelbar hinter einander hervorgebracht werden, auf unser Ohr einen angenehmen Eindruck hervor. Macht eine Saite von der Länge 1 in einer Sekunde eine gewisse Anzahl von Schwingungen oder erzeugt sie einen gewissen Ton, so werden nur die Saitenlängen $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{5}{6}$ angenehme Töne zu jenem hervorbringen. Wenn nun aber die Saitenlängen oder die Wellenlängen im Verhältnisse der Zahlen

$1, \frac{4}{5}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{1}{2}$ stehen, so sind
$1, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, 2$ oder
24, 30, 32, 36, 48 die Verhältnißzahlen zu den Schwingungen in derselben Zeit und die Namen der Töne nach der Reihe
C, E, F, G, c, (wobei 128 einfache Schwingnngen die absolute Schwingungszahl für das große C ist).

Der Ton c macht 2 Schwingungen in derselben Zeit, in welcher C nur eine vollendet und heißt die **Oktave** von C; der Ton G, dessen Wellenlänge $\frac{2}{3}$ von der des Tones C beträgt, macht 3 Schwingungen, während C deren 2 vollendet und heißt die **Quinte** von C; F macht 4 Schwingungen, während C deren 3 vollendet und heißt die **Quarte** von C; E macht 5, während C 4 und heißt **große Terz**, und wenn man noch den Ton nimmt, welcher durch 6 Schwingungen erzeugt wird (Es), während bei C 5 stattfinden, so heißt dieses Verhältniß die **kleine Terz**. C, E und G, deren Schwingungszahlen 4, 5, 6 oder 24, 30, 36 sind, bilden den **C-Dur-Akkord** oder den großen Dreiklang. — Konsonanz.

Aber so wie C kann jeder andere Ton als Grundton betrachtet werden und hat seine Terz und Quint. Die Quinte von G macht auch 3 Schwingungen, während G selbst 2 vollendet, oder auf 36 Schwingungen von G kommen 54 seiner Quinte zu, welche d heißen soll; die nächst niedere Oktave von d oder D wird gleichzeitig 27 Schwingungen machen. (Ganz ebenso ist von c die Quinte F, weil das Schwingungsverhältniß $2 : 3 = 32 : 48$ ist).

Die große Terz von G, mit H bezeichnet, macht 5 Schwingungen, während G selbst 4 vollendet, oder auf 36 von G kommen 45 auf H.

Die große Terz von F muß, wenn dieses 32 Schwingungen macht, 40 vollenden, weil $4 : 5 = 32 : 40$ ist und heißt A.

Die bis jetzt erhaltene Reihenfolge von Tönen mit den Verhältnißzahlen ihrer Schwingungen ist also

C	D	E	F	G	A	H	c	d	
24	27	30	32	36	40	45	48	54	oder
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	$\frac{9}{4}$	

und kann durch Bildung höherer und niederer Oktaven eines jeden Tones leicht nach beiden Richtungen fortgesetzt werden. Diese Tonreihe vom Grundtone bis zur Oktave einschließlich, also 8 Töne enthaltend, heißt die **diatonische Tonleiter** und gewährt dem Ohre in ihrer Aufeinanderfolge eine gewisse Befriedigung, obwohl je zwei aufeinander folgende Töne nicht gleiche Zwischenraüme, **Intervalle**, haben; denn die Differenzen der Oszillationsgeschwindigkeit

zweier benachbarten Töne sind nach der Ordnung für die folgenden um $\frac{1}{8}, \frac{1}{9}, \frac{1}{15}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{15}$ größer. Das Intervall $\frac{1}{8}$ (C : D, F : G, A : H) heißt ein großer ganzer Ton, das Intervall $\frac{1}{9}$ (D : E, G : A) ein kleiner ganzer Ton, das Intervall $\frac{1}{15}$ (E : F, H : c) ein halber Ton.

Es ist also in der obigen diatonischen Tonleiter die Aufeinanderfolge der Intervalle eine ganz bestimmte. Wollte man aber zur weiteren Bildung der Töne in lauter reinen Intervallen fortschreiten, so würde man keine reinen Oktaven bekommen; z. B. für den Grundton 1 ist die Schwingungszahl der ersten Terz $\frac{5}{4}$, der zweiten Terz $\frac{5}{4} \cdot \frac{5}{4}$, der dritten $\frac{25}{16} \cdot \frac{5}{4} = \frac{125}{64}$, also nicht die reine Oktave $2 = \frac{128}{64}$. Will man also die Reinheit der Oktaven erhalten, so muß man von der vollkommenen Reinheit der Intervalle absehen oder man muß die Töne ein wenig ober- oder unterhalb dieser Reinheit schweben lassen, was man die Temperatur der Töne nennt.

Denkt man sich die obige Tonleiter weiter fortgesetzt, so kann man versuchen verschiedene Töne als Grundtöne anzunehmen. Hierbei zeigt sich aber nur in zwei Fällen eine genügende Aufeinanderfolge 1) wenn man C als Grundton annimmt, was die harte oder Dur-Tonart und 2) wenn A als Grundton gesetzt wird, was die weiche oder Moll-Tonart giebt; in den übrigen Fällen zeigt sich eine ganz unbefriedigende und verschiedene Aufeinanderfolge der Intervalle, selbst wenn man auf den Unterschied des großen und kleinen ganzen Tones keine Rücksicht nimmt, was geschehen kann, weil selbst einem geübten Ohre ihr Unterschied unmerklich ist. Hieraus folgt, daß die sieben Töne der diatonischen Tonleiter nicht ausreichen, um jeden beliebigen Ton zum Grundtone zu machen. Der freie Gesang oder das Spiel auf der Violine hilft sich und macht jeden Ton gleichsam zum C; aber bei Instrumenten von gleichbleibender Stimmung für jeden einzelnen Ton muß zwischen jedes Paar von Tönen, die das Intervall eines ganzen Tones bilden, ein Ton eingeschaltet werden, der als Erhöhung des niedrigeren und als Erniedrigung des höheren anzusehen ist. Diese 5 Zwischentöne (cis, es, fis, gis, b) müssen so gewählt werden, daß die Stimmung der Töne in Beziehung auf keinen zwar ganz strenge rein, aber wegen der Vertheilung für das Gehör unmerklich ist, weil es ja, oft zum großen Vortheile, so ungemein zarte Unterschiede aufzufassen nicht im Stande ist. Die Einschaltung dieser Zwischentöne geschieht im Allgemeinen dadurch, daß man die ursprünglichen Töne der Tonleiter mit dem Tonverhältnisse $\frac{24}{25}$, d. i. dem kleinen halben Tone, multiplizirt, um sie zu erniedrigen. Diese gleichmäßige Vertheilung unter alle 13 Töne der Oktave heißt die gleichschwebende Temperatur, während die, wo die Stimmung in Beziehung auf gewisse Töne als Grundtöne, reiner, als in Beziehung auf andere ist, die ungleichschwebende Temperatur genannt wird.

Aus den Verhältnißzahlen der Schwingungen für die Töne einer Oktave und der absoluten Schwingungszahl für einen Ton derselben lassen sich leicht die absoluten Schwingungszahlen aller einzelnen Töne der 8 bis 9 Oktaven, welche in der Musik vorkommen, berechnen. Z. B. gehören zum Tone c 128 Doppelschwingungen (bestehend aus Hin- und Rückgang innerhalb der ganzen Bahn, wodurch eine ganze Schallwelle mit einem Verdichtungs- und Verdünnungsmaximum entsteht), so sind die Zahlen für seine Oktave

c d e f g a h $\overline{c}$
128, 144, 160, $170\frac{2}{3}$, 192, $213\frac{1}{3}$, 240, 256.

Nebentöne. Bis jetzt haben wir jede Saite bei ihrer Schwingung blos als ein Ganzes betrachtet, sie mochte nun selbst ganz schwingen und den Grundton geben oder ein einzelner Theil mochte als Ganzes für sich den ihm zugehörigen Ton hervorbringen. Hört man aber beim Angeben des Hauptton einer Saite, wozu sich vorzüglich eine dickere etwas lange Metallsaite eignet, genau auf den Ton; so wird man leicht eine Vermischung mehrer Töne wahrnehmen, besonders wenn der Hauptton verklingt. Ist letzterer z. B. C, so hört man ganz vernehmlich die Oktave der reinen Quinte (g), die Doppeloktave der großen Terz ($\overline{e}$) und ein geübtes Ohr wird noch die Oktave c, so wie die Doppeloktave $\overline{c}$ unterscheiden können. Dieses sind die Töne, welche zu $\frac{1}{2}$(c), $\frac{1}{3}$(g), $\frac{1}{4}$($\overline{c}$), $\frac{1}{5}$($\overline{e}$) Saitenlänge gehören, woraus folgt, daß, während die Saite als Ganzes schwingt, zugleich ihre Hälfte, das Drittel u. s. w. selbstständige Schwingungen machen müssen, ohne daß eine Schwingungsart die andere aufhebt. Weil nun aber die mitklingenden Töne so hoch liegen, so ist klar, daß bei einem angegebenen höheren Tone die mitklingenden immer unvernehmlicher werden müssen, je weiter man hinaufgeht und endlich gar nicht mehr gehört werden können. Man darf also nicht etwa glauben, daß es blos in der Natur der tiefen Töne liege, die sogenannte Sympathie der Töne rege zu machen.

Erscheinungen an der Äolsharfe, welche mehre gleichtönende Saiten enthält, an denen durch Luftzug konsonirende Töne erzeugt werden. Wetterharfe, Meertrompete.

Flageolet-Töne. Wenn es nun auch kein Mittel giebt, das Mitklingen dieser höheren Töne oder das gleichzeitige Vorhandensein verschiedener Schwingungen der Theile einer Saite zu verhindern, so werden doch durch das Berühren der Schwingungsknoten alle diejenigen Töne als mitklingende ausgeschlossen, bei welchen die berührte Stelle mitschwingen und zur Erzeugung der Nebentöne beitragen würde. Dadurch wird ein weit höherer Grad von Reinheit und Kraft der Töne erlangt, weßhalb die Tonkünstler sich nicht selten derselben bedienen.

Obwohl durch ein geeignetes Abkürzen der Saite sehr viele Töne der Tonleiter auf diese Weise ganz rein hervorgebracht werden können, so finden sie doch für das gewöhnliche Spiel seltener Anwendung, weil die tieferen Töne nicht eben so entstehen können und die höheren überdies etwas schwieriger aufzufinden sind.

2) Longitudinalschwingungen *a*) von Saiten und Stäben.

Bei Saiten hat Dicke und Spannung keinen Einfluß; in Betreff der Länge gilt dasselbe Gesetz wie bei Querschwingungen. Entweder schwingt die Saite als Ganzes oder in 2, 3 4 ..... n gleichen Theilen, jenachdem sich 1, 2, 3 ..... (n — 1) Schwingungsknoten bilden, so daß die Töne der Reihe der natürlichen ganzen Zahlen entsprechen, nur daß sie weit höher sind, als die von gleich langen Saiten bei Transversalschwingungen. Man muß sich also langer Saiten bedienen und durch angemessene Dämpfung an einem Schwingungsknoten die Reinheit des Tones erzeugen.

Bei Röhren und Stäben von etwas größerer Länge lassen sich durch Veränderung der Geschwindigkeit oder des Druckes beim Reiben und durch ange-

messene Berührung die Töne der natürlichen Zahlenreihe auch hervorbringen. Als Gesetz findet man, daß der Grundton von Stäben derselben Substanz derselbe ist, wenn sie gleiche Länge haben, mögen sie dabei dick oder dünn, voll oder hohl, zylindrisch oder prismatisch (streifenförmig) sein, wenn nur die Länge die anderen Dimensionen bedeutend überwiegt.

Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern. Aus dem oben (in b und c) Gesagten ergiebt sich, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Welle zunächst in der Luft ein Produkt war aus der doppelten Entfernung zweier Knoten (wovon der eine das Maximum, der andere das Minimum der Verdichtung enthält) und der absoluten Schwingungszahl (wobei Doppelschwingungen zu rechnen sind). Dieses Gesetz läßt sich nun anwenden zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in Stäben von verschiedenem Materiale. Es verhalten sich bei Stäben aus verschiedenen Substanzen und bei gleicher Länge und Schwingungsweise die Geschwindigkeiten wie die Tonhöhen.

β) Longitudinalschwingungen von Luftsaülen;
1) gedeckte Pfeifen.

Hat man eine an dem einen Ende verschlossene Röhre und hält an das offene Ende einen tönenden Körper, so kann man es durch einen beweglichen Stempel oder durch Hineingießen von Wasser leicht dazu bringen, daß die eingeschlossene Luftsaüle auch denselben Ton, welchen man außerhalb erzeugt, vernehmen läßt und dadurch den letztern verstärkt. Dieses ist nur auf die Weise möglich, daß die eingeschlossene Luftsaüle in stehende Schwingungen von gleicher Dauer mit denen des außerhalb tönenden Körpers geräth, wozu aber ein bestimmtes Längenverhältniß erforderlich ist.

Denken wir uns den verdichteten Theil der Schallwelle des Tones grade bei der Mündung a (Fig. 99.) angelangt, so werden alle Luftschichten von a nach b gedrängt, die bei a am meisten, die vor b am wenigsten; dagegen entsteht bei a keine merkliche Verdichtung, während sie bei b am größten ist. Das zweite Stadium des Vorganges besteht in einer rückgängigen Bewegung von b nach a, aber nicht blos bis zur ursprünglichen Gleichgewichtslage, sondern wegen des Beharrungsvermögens noch darüber hinaus, so daß die Luft bei b in einem verdünnten Zustande ist, während sie bei a ein wenig heraustritt, um zuletzt von da wieder in die Gleichgewichtslage zurück zu gehen. Bei b ist also ein Schwingungsknoten mit dem Maximum und Minimum der Verdichtung und keiner Bewegung; bei a ein Bauch ohne Verdichtung oder Verdünnung und mit der größten Oszillationsamplitude. Der von jedem Lufttheilchen x zurück gelegte Weg besteht aus 4 Theilen: 1) von x nach r, 2) von r nach x, 3) von x nach n, 4) von n nach x; ist in 1 und 3 verzögert, in 2 und 4 beschleunigt. — Wenn nun die Entfernung der Knoten von den Baüchen bei den außerhalb der Röhre hervorgebrachten Schallwellen grade der Länge der Röhre gleich ist, so wird sie mittönen und denselben Ton geben. An der Öffnung der Röhre muß nämlich der verdichtete Theil der zurück geworfenen Welle mit dem verdünnten Theile der stets grade einfallenden zusammen treffen und umgekehrt. Versteht man unter der Wellenlänge die Summe der Ausdehnungen von der Verdichtungs- und Verdünnungswelle,

genommen auf einem Radius der Kugelwelle, so wird dieser Bedingung dadurch genügt, daß die Mündung der Röhre um $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$ u. s. w. Wellenlänge vom Boden entfernt ist.

Ist ab (Fig. 100.) eine gedeckte Röhre, deren Länge $\frac{3}{4}$ Wellenlänge beträgt, so wird, wenn in a die größte Verdichtung eintritt, sich in c die größte Verdünnung befinden. Die graphische Darstellung durch die krumme Linie mag den Vorgang versinnlichen. Könnte sich das Wellensystem über b hinaus verbreiten, so würde gleichzeitig in c' die größte Verdichtung, in a' die größte Verdünnung stattfinden. Da die Welle aber in b zurück geworfen wird, so fällt c' auf c, a' auf a, wodurch in c und a eine Ausgleichung der Dichtigkeitsdifferenzen eintritt und diese Luftschichten in ihrem natürlichen Zustande blos und zwar am weitesten hin und her oszilliren; es sind daselbst Baüche. — Schreitet nun ferner das Maximum der Dichtigkeit von a nach d fort (punktirte Kurve), so müßte das nächste, wenn kein Verschluß stattfände, von c' nach d' gehen; aber wegen der Zurückwerfung bei b fällt das eine Verdichtungsmaximum d' auf das andere d; es ist in d ein Knoten. — So wie nun nach der ersten halben Undulation in d die größte Verdichtung eintritt, ebenso nach der anderen halben die größte Verdünnung, oder es bleibt dort ein Knoten, welcher sich gar nicht bewegt; denn da sich bei der weiteren Verbreitung der Schwingungen d und d' stets in demselben Schwingungszustande nach derselben Richtung befinden, so muß durch die Zurückwerfung bei b und das Aufeinanderfallen von d' und d die Bewegung des einen die jetzt entgegen gesetzte gleiche des anderen aufheben. Ebenso ist auch bei b ein Knoten, nur daß, wenn in d die größte Verdichtung eintritt, in b die größte Verdünnung stattfindet.

Es lassen sich durch verschiedene Töne an derselben gedeckten Pfeife noch mehre Schwingungsknoten erzeugen, aber stets ist der nächste an der Mündung $\frac{1}{4}$ der ganzen Wellenlänge des Tones, bestehend aus Verdichtungs- und Verdünnungswelle, und je zwei auf einander folgende, so wie der letzte vom Boden um $\frac{1}{2}$ Wellenlänge von einem Minimum bis zum nächsten Maximum der Verdichtung entfernt. Demnach theilt sich die Luftsaüle nach den ungraden Zahlen in gleiche Theile (Fig. 101.), und da sich die Schwingungszahlen wie umgekehrt die Ausdehnungen der Schallwellen verhalten, so werden auch die Töne, welche eine gedeckte Pfeife von bestimmter Länge anspricht, dasselbe Verhältniß haben ($\frac{1}{1}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{9}$, d. i. C, g, $\overline{e}$, $\sharp\overline{a}$, $\overline{\overline{d}}$).

Praktische Mittel bei Glaspfeifen die Stellen der Schwingungsknoten und Baüche zu erkennen. — Der Abstand des letzten Knotens von der Mündung ist etwas kleiner, als $\frac{1}{4}$ Wellenlänge, weil der Bauch etwas aus der Öffnung hervortritt. (Vergl. übrigens S. 106, b).

2) Offene Pfeifen. Auf gleiche Weise kann auch die in einer an beiden Enden offenen Röhre enthaltene Luftsaüle durch Bildung stehender Wellen zum Tönen gebracht werden, nur daß sich, wenn die Verdichtungswelle an dem einen Ende eintritt, an dem anderen Ende niemals ein Knoten bilden kann, weil dort die Luftsaüle mit der außeren Luft in Verbindung steht und so jede merkliche Verdichtung unmöglich macht; dagegen kann im Inneren der Röhre eine stärkere Verdichtung eintreten, weil dort die Luft seitwärts nicht entweichen kann. Gelangt demnach die oszillato-

rische Bewegung an das andere Ende, so wird sie zwar durch das Beharrungsvermögen der aüßeren Luft aufgehalten, also gewissermaßen auch wohl reflektirt, aber es kann dort nur ein Bauch entstehen, wie am ersten Ende. Der tiefste Ton, welcher die Röhre anspricht, wird einen Schwingungsknoten in ihrer Mitte bilden; sollen zwei Schwingungsknoten entstehen, so muß sich die Pfeife in 4 gleiche Theile zerlegen, so daß die Schwingungsknoten $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge von jedem Ende entfernt sind, weil die Entfernung der Mitten von einem Bauche und dem benachbarten Knoten stets die Hälfte der Ausdehnung der ganzen Verdichtungs- oder Verdünnungswelle beträgt. Bei zwei sich bildenden Knoten wird gleichzeitig in dem einen die größte Verdichtung, in dem anderen die größte Verdünnung eintreten und so werden stets in zwei benachbarten Knotenstellen entgegen gesetzte Zustände stattfinden. In Fig. 102. bedeuten die Punkte Verdichtungs-, die kleinen Kreise Verdünnungs-Maxima und die Pfeile oben und unten geben die Richtung der Bewegung der zwischen ihnen liegenden Luftschichten in den beiden Hauptmomenten an.

Die offenen Pfeifen theilen sich also nach den graden Zahlen in gleiche Theile, so daß sich zwischen je zwei benachbarten Knoten 2 Theile befinden (Fig. 103.); die Tonhöhen oder Schwingungszahlen stehen in demselben Verhältnisse, wie diese graden Zahlen (c, $\bar{c}$, $\bar{\bar{g}}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{e}}$), die Wellendimensionen mit den Schwingungszahlen im umgekehrten.

Haben eine gedeckte und eine offene Pfeife, welche jede für sich den tiefsten Ton ansprechen, gleiche Länge, so ist der von der offenen die nächst höhere Oktave des Tones der gedeckten, weil die Wellenlänge bei jener die Hälfte von der bei dieser ist. Die offene Pfeife ist also als eine aus zwei gedeckten von halber Länge, mit den verschlossenen Enden an einander gesetzt, zu betrachten und ihre tiefsten Töne sind wirklich dieselben. Überhaupt aber gilt das Gesetz: Bei gleichartigen Pfeifen verhalten sich die Wellenlängen wie umgekehrt die Schwingungszahlen.

Den tiefsten in der Musik brauchbaren Ton bringt eine offene Orgelpfeife von 32 Fuß Länge (gedeckt von 16′) hervor, folglich hat auch jede Verdichtungswelle desselben eine Breite von 32′, also Verdichtungs- und Verdünnungswelle zusammen 64′. Wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles zu 1024′ = 32 . 32′ angenommen, so muß demnach ein Körper, um diesen Ton zu erzeugen auch 32 einfache oder 16 Doppelschwingungen (Stöße) vollenden. Die aus einem Hin- und Hergange der Schallwelle bestehende Schwingung durchlaüft die Länge der Pfeife in $\frac{1}{32}$ Sekunde und überhaupt haben die in jeder tönenden Pfeife vorhandenen stehenden Wellen genau dieselbe Geschwindigkeit, wie die außerhalb der Pfeife fortschreitenden Wellen, welche den Schall verbreiten ohne selbst zu tönen. Die Entfernung zweier benachbarten Knoten ist stets also auch gleich der Hälfte des Weges, welchen der Schall in der freien Luft während einer ganzen Schwingung des tönenden Körpers zurück legen würde.

Man kann demnach auch aus den Dimensionen der Schallwellen in tönenden Pfeifen die Menge der Schwingungen des Tones stets auffinden und weiß man außer der Dimension der Tonwellen noch die absolute Schwingungszahl des

Tones, so läßt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dem betreffenden Mittel (verschiedenen Luftarten) berechnen.

Die Luftsaüle in einer offenen Pfeife wird an beiden Enden durch die äußere Luft in Spannung erhalten, wie eine angespannte Saite oder ein an beiden Enden befestigter Stab; die in einer gedeckten nur an dem einen Ende, so wie ein nur an dem einen Ende eingeklemmter Metallstreifen.

3) Verschiedene Blasinstrumente. Die Mittel Luftsaülen überhaupt zum Tönen zu bringen und an einer bestimmten Pfeife verschiedene Töne zu erzeugen sind sehr mannigfach: durch Verdichtung der Luft mittelst des Hineinblasens wie bei Trompeten, Waldhörnern; durch Reiben von Luft an Luft (wie ein Violinbogen an einer Saite), indem man einen schmalen Luftstrom an der Pfeife vorbeistreichen läßt wie bei Zungenwerken; durch verschiedene Mundstücke, durch das Anblasen auf verschiedene Weise und in verschiedener Stärke. Die chemische Harmonika. — Die Seitenöffnungen und Klappen dienen bei Blasinstrumenten dazu, die Luftsaüle darin nach Bedürfniß zu verkürzen. Öffnungen an Baüchen haben den Zweck die aliquoten Theile der Luftsaüle besser schwingen, also die betreffenden Töne klar und stark zu machen (Flageolet-Töne bei Saiten); Öffnungen an Knotenstellen für einen gewissen Ton ändern diesen Ton.

Die Verlängerungen an Posaunen, die Ansatzstücke, Mundstücke bei Waldhörnern u. a. — Je weiter das Mundloch, desto eher giebt die Pfeife den Grundton; aber je breiter dasselbe ist bei gleicher Weite oder Entfernung der parallelen Lippen desselben, desto höher wird der Ton (Ohren der Orgelpfeifen). Da eine gedeckte Pfeife tiefere Töne giebt, als eine gleich lange offene, so kann man durch einen beweglichen Deckel an der einen Mündung der offenen Röhre ihren Ton etwas verändern; das Stimmen der Orgelpfeifen; bei bleiernen oder zinnernen offenen Pfeifen wird durch Verengung der Mündung der Ton tiefer, durch Erweiterung höher gemacht; das sogenannte Stopfen beim Waldhorne. Bringt man in den Boden einer gedeckten Pfeife ein engeres Rohr an, so wird der Ton ein höherer, als bei der vollkommen gedeckten, und tiefer, als bei der vollkommen offenen Pfeife. — Instrumente mit konvergenten oder mit divergenten Wänden.

Daß die Weite der Pfeife bei überwiegender Länge auf die Tönhöhe keinen Einfluß hat, ist eben so klar, als daß die Weite der Barometerröhre auf den Stand desselben ohne Wirkung ist, wenigstens bei ziemlich weiten Röhren, bei denen die Erscheinung der Kapillarität nicht eintreten kann. Auf die Tonstärke hat die Weite allerdings einen Einfluß, den die Orgelbauer wohl zu benutzen wissen.

Wenn aber die Länge einer Pfeife ihre anderen Dimensionen nicht bedeutend überwiegt, so sind die Gesetze für die Schwingungen zusammengesetzter. Im ersten Falle ist es gleichgiltig, ob die Röhre zylindrisch oder prismatisch ist; im letzteren nicht. Die Schwingungszahlen ähnlicher Röhren mit ähnlichen Mundlöchern verhalten sich wie die Dimensionen der Röhren. — Der Brummkreisel.

Der Stoff, aus dem eine Pfeife besteht, ist nicht ganz ohne Einfluß 1) auf die Höhe des Tones, indem sich z. B. durch Anfeuchtung einer aus Pergament oder Papier gemachten kurzen und weiten Pfeife der Ton herabstimmt, 2) auf die Stärke und spezifische Beschaffenheit (den Charakter), indem z. B. gehärtetes Metall nicht so klare Töne giebt, als weiches. Aus der Natur der Töne kann der geübte Orgelbauer auf die Beschaffenheit des Zinnes der Orgelpfeifen schließen.

Auch Saülen von anderen Flüssigkeiten als Luft, wie z. B. Wasser, können zum Tönen gebracht werden. Bringt man eine offene Pfeife unter Wasser und preßt durch ein Druckwerk Wasser durch das Mundstück, so entsteht ein brausender und weit tieferer Ton, als in der Luft.

Noch sind die mit elastischen Metallplättchen in Verbindung gebrachten Pfeifen, die Zungenpfeifen, zu erwähnen. Wird ein solches Metallplättchen durch einen Luftstrom auf angemessene Weise zum Tönen gebracht oder übt es dadurch, daß es beim Anblasen vermöge seiner Elastizität abwechselnd einen kleinen abgesperrten Raum öffnet und verschließt, Stöße aus; so kann eine die Schwingungen unmittelbar aufnehmende Luftsaüle von bestimmter Länge nur dann mittönen, wenn die ihr eigenthümlichen Töne zu dem der Zunge konsoniren (Schnarrwerke der Orgeln). Ist eine offene Luftsaüle von der Länge a für sich mit dem Plättchen im Einklange, so geben beide zusammen die nächst niedere Oktave; wird die Luftsaüle auf 2a, 3a u. s. w. verlängert, so sinkt der Ton um eine Quart, kleine Terz u. s. w.; aber es giebt viele Instrumente (Fagott, Klarinette, Oboe), welche durch den Gebrauch der Seitenöffnungen die Hervorbringung aller Töne von mehren Oktaven zulassen.

Bei letzteren ist die Zunge, welche mit den Lippen mehr oder weniger gepreßt wird, nicht als tonerregend anzusehen, sondern sie wird vielmehr durch die Berührung mit den verschiedenartig tönenden Luftsaülen in gleichzeitige Schwingungen versetzt und verleiht jenen dadurch die Eigenthümlichkeiten, welche an diesen Instrumenten bekannt sind. — Die Mundharmonika.

4) Einfluß des spezifischen Gewichtes der Gase. Bei der Beurtheilung des Tones einer bestimmten Luftsaüle muß man außer ihrer Länge vorzüglich ihre Schwere und Elastizität berücksichtigen. Weil nun aber die Schwere einer bestimmten Luftsaüle und die Kraft, mit welcher sie zusammengedrückt wird, einander stets proportional sind, so wird der Ton einer bestimmten Pfeife in verschiedenen Luftschichten der Atmosphäre so wie in derselben bei verschiedenem Barometerstande stets derselbe sein.

Eine Veränderung des Verhältnisses der Elastizität der Luft zur Schwere (oder der spezifischen Elastizität) vermag bei derselben Pfeife den Ton zu ändern; also Veränderung der Temperatur einer bestimmten Luftart und die verschiedene spezifische Schwere der Gasarten. — Da Vermehrung der Wärme die Geschwindigkeit des Schalles in einer bestimmten Luftart vermehrt, so muß wärmere Luft in Instrumenten von bestimmter Länge einen etwas höheren Ton geben, kältere einen tieferen, was bei Konzerten einem empfindlichen Ohre wohl bemerklich ist.

Wenn man aus den Verhältnissen der Oszillationsgeschwindigkeiten verschiedener Luftarten in derselben Pfeife auf die Schnelligkeit der Fortpflanzung des Schalles in denselben schließen will, so muß auf die Verkürzung der Tonwelle an den offenen Enden der Pfeifen, was eigentlich ein Heraustreten der Tonwelle aus der Pfeife ist, Rücksicht genommen werden.

II. Töne flächenförmiger Körper.

Bei einer bestimmten Scheibe ist die Veränderung des Tones von der Veränderung der Klangfigur abhängig und diese wieder von der Stärke, der Geschwindigkeit und Richtung des Anstreichens, von der Stelle der Scheibe, welche festgehalten oder von der, welche angestrichen oder bei einer gewissen Einspannung etwa gedämpft wird. Zu jeder bestimmten Figur einer bestimmten Scheibe gehört auch ein bestimmter Ton, der um so höher ist, je zusammengesetzter die Figur wird, oder je kleiner die schwingenden Theile sind. Auf verschiedenen Scheiben gehören zu derselben Figur verschiedene

Töne und zu verschiedenen Figuren können auch dieselben Töne gehören; die Scheiben aus weniger elastischen Stoffen geben tiefere Töne. — Die Eintheilung der Scheiben von gewissen mathematischen Formen ist stets symmetrisch und die Intervalle zwischen zwei entsprechenden Tönen auf gleich gestalteten Scheiben sind stets dieselben. Im Allgemeinen ist die Höhe der Töne von der Größe, Dicke und Beschaffenheit (Elastizität, Dichtigkeit) des Stoffes abhängig. Je größer und dünner eine Scheibe von bestimmter Materie ist, desto tiefer ist bei einer bestimmten Klangfigur der Ton. Bei Platten aus derselben Materie und von ähnlicher Form verhalten sich die zu ähnlichen Figuren gehörigen Schwingungszahlen grade wie die Dicken der Platten und verkehrt wie die Quadrate der homologen Abmessungen der Oberflächen.

Das Anstreichen an verschiedenen gleich stark schwingenden Stellen verändert weder Figur noch Ton. Außer dem Hauptttone entstehen auch Nebentöne (Glocken).

III. Tönende Massen.

So wie an den Körpern, bei denen zwei Dimensionen gering sind, sich Knotenpunkte, an denen, bei welchen eine Dimension zurücktritt, sich Knotenlinien bildeten, wodurch höhere Töne entstanden; eben so werden sich bei solchen Körpern, bei welchen keine der drei Dimensionen überwiegend hervortritt, Knotenflächen erzeugen. Wenn man mit dem Hammer auf den Ambos schlägt oder einen Stein, ein Stück Holz u. a. zum Tönen bringt, so werden sich in einem solchen Körper auch Systeme von verdichteten und verdünnten Wellen bilden, die aber auch um so kürzer sein werden, je weniger elastisch der Körper ist. Je mehr sich Knotenflächen bei demselben Körper bilden, desto höher muß der Ton sein.

Obwohl diese Knotenflächen nur auf den Oberflächen und zwar als Linien hervortreten können, so würde ihre Beobachtung doch wohl auch zu Schlüssen auf die Elastizität und Struktur der Körper Veranlassung geben.

e) **Mittheilung der Tonschwingungen zwischen verschiedenartigen Körpern.**

Wenn ein Theil eines Körpers in tönende Schwingungen versetzt wird, so verbreiten sich dieselben wohl leicht über den ganzen Körper, gehen aber schwerer auf einen Körper von einem anderen Aggregatszustande über. Ein Übergang findet unter allen Umständen statt, denn sonst gäbe es keine Schallleitung. Hier sprechen wir nur noch von den eigenthümlichen Erscheinungen bei der Mittheilung von Tonschwingungen, welche übergehen können 1) von festen Körpern durch feste zu festen, 2) von festen durch Luft zu festen, 3) von festen durch Luft zu Luft, 4) von Luft durch Luft zu Luft, 5) von Luft durch Luft zu festen Körpern u. s. w. Es wird hinreichend sein, hier nur einige Erscheinungen zu betrachten.

1) Wird eine dünne und schmale Holzplatte an dem einen Ende eingeklemmt und an dem anderen mit einer über einen Steg geführten und durch einen Wirbel gespannten Saite in Verbindung gebracht; so werden die durch verschiedenes Streichen oder verändertes Spannen an der Saite hervorgebrachten Töne auch verschiedene Klangfiguren auf der Holzplatte zur Folge haben.

2) Verbindet man zwei leicht tönende Scheiben desselben Stoffes und

von einerlei Ausdehnung durch eine Queraxe, bestreut beide mit feinem Sande und bringt nur die eine durch Anstreichen zum Tönen, so wird die Entstehung und Abänderung der Klangfiguren auf beiden Scheiben gleichzeitig sein.

3) Spannt man Haütchen über Rahmen und bestreut sie mit Sand, so werden die über ihnen durch verschiedene Stimmgabeln, Saiten oder Orgelpfeifen hervorgebrachten Töne aüßerst mannigfache Figuren erzeugen, aber so, daß eine gewisse Haut bei bestimmter Spannung auch eine bestimmte Figur zeigt, wenn der Ton ein gewisser ist. Erhöht man ihn, so wird die neu entstehende Figur zusammengesetzter.

4) Erzeugt man einen gewissen Ton auf irgend eine Weise (durch feste Körper, durch Luft) und ist in der Nähe ein elastischer (fester oder luftförmiger) Körper, welcher entweder denselben Ton oder einen harmonischen geben würde, so erscheint auch wirklich dieser Ton.

5) Bringt man eine Stimmgabel durch Anschlagen zum Tönen, so wird der Ton nur schwach vernommen, wenn man sie frei in der Luft hält; setzt man sie aber auf einen festen möglichst elastischen Körper von größerer Ausdehnung, so ist der Ton bedeutend stärker. Eine Luftsaüle, die für sich denselben Ton giebt, wird durch sie in Schwingungen mit demselben Tone versetzt.

Die obige Erscheinung, daß der Ton eines Körpers von verhältnißmäßig geringer Ausdehnung, welcher deßhalb also auch schwach ist, durch das gleichzeitige Mitschwingen eines anderen von weit größerer Oberfläche und Ausdehnung überhaupt namhaft verstärkt wird, nennt man Resonanz. Resonanzfiguren.

Gewisse Töne, in einem Zimmer hervorgebracht, sind stärker als andere. Man erzählt von einem Echo in Schottland in der Nähe des Landgutes Rosneath, welches von einem gewissen Tone die Terz und dann seine Quinte wiedergiebt.

Es ist möglich, daß man bei einem schnell abgekühlten Glase, welches einen bestimmten Ton anspricht, durch Hineinschreien dieses Tones das Glas zersprengt. — Spieldosen oder Spieluhren auf hohlen Kasten. Die über hohlen Holzkasten von recht trockenem, elastischem und gleichfaserigem Holze gespannten Saiten verschiedener Instrumente, wie der Violinen, Harfen, Guitarren, Aolsharfen, Fortepianos u. drgl. — Die kürzeren Saiten befinden sich meist auch über kürzeren Holzfasern, die langen und starken über langen. Nicht alle Töne sprechen gleich gut an, am besten, wenn die Saiten in einer gegen den Holzboden senkrechten Ebene schwingen. Überhaupt bewegen sich bei allen mitgetheilten Schwingungen die Theile des Körpers nach Richtungen, wie sie der mittheilende Körper besitzt.

Resonanzboden der Instrumente, die sogenannte Stimme bei der Violine. Wird der Ton der einen Saite auf einer Violine u. drgl. auf einer zweiten Violine angegeben, so erklingt er auch auf der ersten, wenn sie von jener nicht allzu entfernt ist. — Bei tönenden Luftsaülen findet ein Nachklingen nicht statt.

f) Interferenz.

1) Es ist schon aus theoretischen Gründen nothwendig, daß die zu beiden Seiten eines Knotens (Punkt, Linie, Fläche) liegenden Theile eines tönenden Körpers nach entgegen gesetzten Richtungen schwingen, wobei nach den Knoten zu die Amplituden immer kleiner werden und in ihnen verschwinden, daß aber zwei durch einen dritten getrennte Theile nach derselben Richtung schwingen. Darüber läßt sich durch folgenden Versuch Gewißheit erlangen: Nimmt man eine Röhre (Fig. 104,1.), welche an der

einen Seite a mit einer zarten Haut bespannt ist und an der anderen sich in zwei gabelförmig auslaufende Äste b und c endigt, bestreut die Haut mit feinem Sande und hält die beiden Gabelenden 1) über verschiedene Punkte desselben schwingenden Theiles der Scheibe, 2) über zwei benachbarte, 3) über zwei durch einen dritten getrennte Theile; so wird der Sand im ersten und letzten Falle lebhaft in die Höhe geworfen, weil die durch die Gabelenden eintretenden Luftschwingungen einander verstärken, aber im zweiten Falle bleibt er um so mehr in Ruhe, je mehr die Weite der Oszillationen an den betreffenden Stellen übereinstimmt. — Nimmt man (Fig. 104,2) eine Röhre, die aus zwei gleich langen durch ein Querstück verbundenen und einen bestimmten Ton einer Scheibe gut ansprechenden parallelen Schenkeln besteht, die man durch einen Schieber s im Querstücke absperren kann; so hört man, wenn dieses geschieht und die Schenkel über entgegen gesetzt vibrirende Stellen der Platte gehalten werden, den Ton sehr stark, öffnet man aber den Schieber, so hört die Verstärkung sofort auf, weil die entgegen gesetzten Schwingungszustände in den Luftsäulen einander aufheben.

2) Eine solche Aufhebung in den Luftwellen läßt sich auch durch bloße Luftstöße erzeugen. Auf einer kreisförmigen Scheibe von dünner glatter Pappe und etwa 12 Zoll Durchmesser befinden sich am Umfange gleich weit vom Mittelpunkte kleine Öffnungen von etwa 2 Linien Durchmesser. Setzt man nun die Scheibe in rasche gleichförmige Drehung, bläst durch ein Glasröhrchen, dessen Mündung ein wenig enger ist, als die Öffnungen sind, recht gleichmäßig, so erscheint ein Ton. Bläst man aber durch zwei verschiedene Öffnungen auf entgegen gesetzten Seiten der Scheibe und dreht recht gleichmäßig, so verschwindet der Ton und es ist nur ein Sausen wahrzunehmen; denn die nach entgegen gesetzten Richtungen gleichzeitig erzeugten zwei Systeme von Luftstößen bringen auch nach entgegen gesetzten Richtungen vibrirende Systeme von Luftwellen hervor, die wegen ihrer Gleichzeitigkeit und gleichen Stärke einander aufheben. — Bringt man auf einer solchen Scheibe zwei konzentrische Reihen von Öffnungen an, aber auf der einen doppelt so viele als auf der anderen und in einerlei Radien; so wird beim gleichzeitigen Anblasen beider Reihen von derselben Seite aus die eine Reihe die Oktave der anderen hervorbringen; bläst man aber von entgegen gesetzten Seiten, so verschwindet der höhere Ton und man hört nur den tieferen.

3) Auch an tönenden Metallstäben ist obige Erscheinung wahrnehmbar. Wird ein sehr sorgfältig gearbeiteter Messingstab, dessen auf die Seitenkanten senkrechter Querschnittt ein Quadrat von etwa zwei Linien Seite ist, durch einseitiges Anschlagen zum Tönen gebracht, so bilden die beiden entgegen gesetzten Seiten ac und nr (Fig. 105.) zwei selbstständige und entgegen gesetzte Wellensysteme. Denn schlägt man ac an, so bewegt es sich in der Richtung des Pfeiles und läßt hinter sich eine Verdünnung, nr aber drängt die Luft vor sich zusammen und bewirkt eine Verdichtung. Da nun aber die Wellensysteme von jedem Punkte aus sich kugelförmig nach allen Richtungen verbreiten, so ist hier bei der etwas namhafteren Ausdehnung des tönenden Körpers die Möglichkeit vorhanden, daß an manchen Stellen die Mitten der Verdichtungs- und Verdünnungswellen

zusammen treffen. Diese Stellen werden wegen der gleichzeitigen Dauer und gleichen Stärke der Schwingungen beider Systeme oder wegen der fortwährend gleichen Dimensionen der Schallwellen gegen den Körper eine bestimmte Lage haben und müssen nach den vier Kanten zu liegen. In Fig. 106. bedeuten die um a gezogenen Bogen Verdichtungs-, die um n Verdünnungswellen. In den auf den Seiten ac und nr gedachten Senkrechten unterstützen beide Systeme einander um so mehr, je näher sie dem mittelsten Perpendikel liegen. Aber in vier von den Kanten ausgehenden Linien der Ausgleichung jedes Unterschiedes der Dichtigkeit verschwindet der Schall.

Schlägt man eine einzelne Stimmgabel auch nur an einer Zinke an, so vibrirt doch auch die andere und zwar so, daß sich beide Zinken gleichzeitig von einander entfernen und auch gleichzeitig wieder nähern; denn es bilden sich in der Nähe des Griffes der Gabel zwei Schwingungsknoten. In Fig. 107. ist der Metallstab ab zunächst grade angenommen und der Schwingungszustand durch punktirte Linien angedeutet; aber durch seine Krümmung wird im Wesentlichen nichts geändert, nur daß der Ton immer tiefer wird, je stärker die Krümmung ist, weil die Schwingungsknoten dadurch einander näher treten und die schwingenden Enden immer länger werden. Wie lange die Gabel tönt, so lange entstehen um a und b selbstständige Wellensysteme; jede Zinke für sich hat zwar vier hyperbolisch gelegene Stellen der Ausgleichung, aber die beiden von jeder Zinke nach der inneren Seite der Gabel zu liegenden verschwinden, indem sie einander wegen der nach entgegen gesetzter Richtung fortschreitenden Bewegung aufheben. Dreht man demnach die angeschlagene Stimmgabel ziemlich dicht vor dem einen Ohre einmal rings um die Axe, so erreicht der Ton viermal das Maximum und viermal das Minimum seiner Stärke. Vernehmlicher wird die Erscheinung, wenn man die Gabel über der etwa 3 Linien weiten Öffnung einer Glasröhre dreht, deren Luftsaüle denselben Ton giebt.

g) Anschwellende Klänge und Kombinationstöne.

Hat man eine Reihe von tönenden Stäben oder Stimmgabeln, deren Töne sehr nahe an einander liegen (Scheibler hatte 52 innerhalb einer Oktave) und läßt man sie nach und nach zu zweien schwingen, so daß zuerst nahe liegende, dann immer mehr und mehr entfernte genommen werden, so bemerkt man anfänglich in längeren Zwischenraümen ein Stärkerwerden des Schalles, einzelne langsame und zählbare Stöße, aber je größer die Differenz der Schwingungszahlen der gleichzeitig hervorgebrachten Töne ist, in desto kürzeren Pausen erfolgen diese Anschwellungen bis sie endlich durch ihre rasche Aufeinanderfolge einen neuen Ton erzeugen (Tartini).

Selbst bei einer einzelnen Glocke, namentlich wenn sie eine bedeutendere Größe hat, bemerkt man ein abwechselndes Anschwellen und Nachlassen des Tones, weil die durch die Knotenlinien gebildeten Theile nach Masse und Elastizität niemals vollständig gleich sind, so daß auch ihre Schwingungszahlen ungleich sein müssen. Macht z. B. der eine Theil in der Sekunde 100, ein anderer 101 Schwingungen, so würde in dieser Zeit 1 Stoß erfolgen, weil von dem einen Wellensysteme nur einmal die Mitte einer Verdichtungswelle auf die Mitte einer solchen aus dem andern fällt. — Macht ein Körper 100 Schwingungen, während der andere in derselben Zeit 105 vollendete, so würden

5 Stöße erscheinen, indem auf je 20 Wellen des einen 21 vom anderen kommen.

Kennt man überhaupt das Verhältniß der Schwingungszahlen zweier Töne, so läßt sich daraus der etwa entstehende Kombinationston berechnen. Z. B.

1) Bringt man auf zwei Orgelpfeifen die Töne $\overline{c}$ und $\overline{e}$, welche das Verhältniß 4—5 haben, recht rein hervor; so muß jede vierte Verdichtungswelle des ersten Tones durch jede fünfte des anderen verstärkt werden. Die Anzahl der durch Kombination gleichzeitig erhaltenen Stöße ist also nur der vierte Theil von der Anzahl des $\overline{c}$ und es muß der neue Ton C sein.

2) Bringt man die Töne c und g recht rein hervor, so ist der Kombinationston auch C, weil wegen des Verhältnisses 2 : 3 jede zweite Welle des ersten Tones durch jede dritte des anderen verstärkt wird, also zum Kombinationstone halb so viele Stöße gehören, als zu c.

Wenn man das Verhältniß der beiden höheren Töne durch die kleinsten ganzen Zahlen darstellt, so wird der Kombinationston stets durch 1 angegeben.

Um den Vorgang bei der Entstehung des Kombinationstones zu versinnlichen, mögen

```
•  o  •  o  •  o  •  o  •  o  •  o  •  | c
• o • o • o • o • o • o • o • o • o •  | g
•        •        •        •           | C
```

die Punkte die Stellen der Verdichtung, die kleinen Kreise die Stellen der Verdünnung bezeichnen. In Fig. 108. sollen die Erhebungen der Kurve über ab Verdichtungs-, die Senkungen aber Verdünnungswellen bezeichnen. Auf ab ist ac als Theil 36 mal aufgetragen; das mit AA bezeichnete Wellensystem enthält 6 Wellen, jede 6 . ac, und das mit BB bezeichnete 9 Wellen, jede 4 . ac; also die Zahlen der auf denselben Raum oder auf dieselbe Zeit fallenden Wellen verhalten sich für A : B wie 6 : 9 = 2 : 3; die Kombinationsstöße fallen in die errichteten Perpendikel.

Forscht man beim Hören des Kombinationstones nach seiner objektiven Quelle, so erscheint er nicht als an einem bestimmten Orte angeregt, sondern man wird auf das eigene Organ zurückgewiesen, in welchem die Kombination der Schläge, als der Momente des Tones, die organisch-subjektive Empfindung hervorbringt.

Durch die Anzahl der Kombinationsstöße läßt sich die absolute Schwingungszahl eines bestimmten Tones sehr genau ermitteln. Will man dies z. B. für $\overline{a}$, so läßt man sich etwa 50 Stimmgabeln für die Oktave von $\overline{a}$ zu $\overline{\overline{a}}$ machen, beobachtet sorgfältig die Anzahl der Kombinationsstöße für je zwei benachbarte in einer Sekunde (d. i. die Differenz der Schwingungszahlen benachbarter Töne), addirt die sämmtlichen Kombinationsstöße und man hat die Differenz der Schwingungszahlen zwischen $\overline{a}$ und $\overline{\overline{a}}$, also auch die absolute für $\overline{a}$, weil $\overline{\overline{a}} = 2 . \overline{a}$.

Durch das Monochord würde die Bestimmung der absoluten Anzahl x der Schwingungen eines bestimmten Tones auf folgende Weise geschehen: Man bringt auf einer zweiten Saite des Instrumentes einen nahe liegenden etwas tieferen Ton, dessen Schwingungszahl y sei, hervor und beobachtet mit einem Chronometer genau die Anzahl a der Stöße in einer

Sekunde. Nun verkürzt man die Saite mit dem tieferen Tone um n Skalentheile, deren etwa 100 auf die ganze Saitenlänge gehen, bis die Töne im Einklange stehen und keine Stöße oder Anschwellungen mehr wahrgenommen werden; dann ergiebt sich aus

1) $x - y = a$ und

2) $x : y = 100 : (100 - n)$ der Werth für $x = \frac{100\,a}{n}$.

Im pariser Konservatorium hat $\overline{a}$ 334,35; in Berlin 441,62; in Wien 140,87 Schwingungen in einer Sekunde.

h) Das Stimm- und Gehörorgan.

1) Beim Menschen gehen von der Mundhöhle aus zwei Kanäle nach dem inneren Körper: der Speisekanal und die Luftröhre. Letztere besteht aus knorpligen Ringen und führt nach unten in zwei Hauptverzweigungen zum Gewebe der Lunge, welche eine Menge Luft aufnehmen und wieder von sich geben kann; nach oben endet sie mit dem Kehlkopfe. Dieser besteht aus vier sehr beweglichen und durch Muskeln verbundenen Knorpeln; seine innere Wand ist die Verlängerung der Luftröhre und verengt sich zu einer schmalen Spalte, der Stimmritze, deren Ränder durch zwei sehr elastische Gewebe, die Stimmbänder, gebildet werden. Eine veränderte Spannung der Stimmbänder erweitert und verengt die Stimmritze. Über dieser befindet sich noch zu beiden Seiten je eine beutelförmige Höhlung; die oberen Ränder davon bilden gleichsam eine zweite Stimmritze, welche durch eine fast dreikantige knorplige Haut, den Kehldeckel, geschlossen werden kann, damit die Speisen darüber hinweg in den Schlund gleiten. — Der Ton wird gebildet in der Stimmritze durch Vibriren der Stimmbänder, welche bei einer bestimmten Spannung einen bestimmten Ton geben, ohne daß die Weite der Stimmritze darauf einen wesentlichen Einfluß hat. Die Verschiedenheit der Töne ist abhängig von dem Heben und Senken des Kehlkopfes, von dem Grade des Öffnens und Schließens der Mund- und Nasenhöhle, von der Länge und Spannung der Stimmhaüte.

An einem Präparate von einem Gestorbenen hat Müller durch Veränderung der Spannung der Bänder alle Töne von H bis $\underline{\underline{\underline{\text{dis}}}}$ hervorgebracht. Bei den Brusttönen gerathen die ganzen Stimmbänder in lebhafte und große Schwingungen; bei den Falsettönen nur ihre feinen Ränder. Kehldeckel, Mund- und Nasenhöhle, Zähne u. s. w. wirken auf den Ton nur durch ihre Resonanz. — Das Stimmorgan hat mit den Zungenpfeifen große Ähnlichkeit. Bei einigen Affenarten ist unter dem Zungenbeine ein hautiger Sack als resonirender Apparat; beim männlichen Frosche tritt ein ähnlicher am Halse hervor.

2) Das Gehörorgan besteht aus dem aüßeren, mittleren und inneren Ohre.

a) Das aüßere Ohr ist die Ohrmuschel, welche den Schall auffängt und zu dem Gehörgange bis an dessen Verschluß, das Trommelfell, fortleitet.

b) Das mittlere Ohr, die Paukenhöhle, hat etwa $\frac{1}{3}$ Zoll Durchmesser und ist mit vier Knöchelchen, dem Hammer, Ambos, Linsenbein, Steigbügel, versehen. — Das Trommelfell kann durch einen Muskel mehr oder weniger gespannt werden, an seiner inneren Seite ist der Griff des Hammers angewachsen und dieser theilt die empfangenen Schwingungen

den anderen mit ihm verbundenen Knöchelchen mit. Die Trommel- oder Paukenhöhle ist durch die eustachische Röhre mit der Mundhöhle in Verbindung, so daß die Luft in ihr mit der äußeren stets im Gleichgewichte ist.

Schwerhörige öffnen, um leichter zu verstehen, den Mund. Die Kanonire thun beim Abfeuern der Geschütze dasselbe, um der Verletzung des Trommelfelles vorzubeugen.

c) Das innere Ohr, das Labyrinth, besteht aus mehren knöchernen Höhlungen (Vorhof, Schnecke, drei halbkreisförmige Kanäle), ist mit einer Flüssigkeit angefüllt, in welcher sich der Gehörnerv vertheilt und steht mit der Trommelhöhle durch zwei Öffnungen, das ovale und runde Fenster, in Verbindung; in das ovale Fenster ist aber der bewegliche Steigbügel durch einen haütigen Saum eingesetzt und das runde ist durch eine zarte Haut geschlossen. Die letzten Verzweigungen des Gehörnervs verbreiten sich bis in die sehr porösen und zelligen Windungen der Schnecke.

Das ganze Gehörorgan ist vollständig von Knochen eingeschlossen; der Gehörgang geht durch den Knochen des Schlafbeines und das innere Ohr ist von dem Felsenbeine eingeschlossen. Das Trommelfell und selbst die Gehörknöchelchen können theilweise verletzt sein, ohne daß die Fähigkeit zu hören ganz aufhört; nur muß der Gehörnerv noch thätig sein.

Zweiter Abschnitt.

Magnetismus.

A. Natürliche Magnete.

Man findet an sehr vielen Orten der Erde ein schwärzliches Eisenerz, welches die Eigenschaft besitzt, leicht bewegliche Eisenstückchen (auch eisenhaltige Körper, wie Messing, Wasserblei, Röthel, Bolus) anzuziehen und mit einer gewissen Kraft festzuhalten. Solches Eisenerz wird Magneteisenstein oder ein natürlicher Magnet und die ihm inwohnende Kraft wird Magnetismus genannt.

Außer dem Magneteisensteine besitzen diese Kraft noch Nickel, Kobalt, Mangan, Chrom u. a.

Taucht man einen natürlichen Magnet in frische Eisenfeile, so haften die Eisentheilchen nicht überall in gleicher Menge und mit gleicher Stärke, sondern es zeichnen sich meist zwei Stellen aus, an denen sie sich in ziemlich langen Büscheln festgesetzt haben.

Hängt man ein Eisenkügelchen an einem biegsamen Faden (von Seide, Baumwolle und drgl.) auf, und nähert demselben verschiedene Stellen des natürlichen Magneten, so zeigt sich wirklich die anziehende Kraft des Magneten gegen das Eisen nicht überall gleich groß: manche Stellen ziehen das Kügelchen schon in großer Entfernung, andere in geringerer an, noch andere zeigen sich ganz indifferent und diese sind es auch, welche keine Eisenfeile anzogen. Der Magnet zeigt gegen das Eisen, wenn auch andere Körper als Luft, wie Papier, Glas, Holz u. a. dazwischen gehalten werden: Anziehung.

Ein frei auf Quecksilber oder auf einem im Wasser schwimmenden Brettchen liegender Magnet nimmt stets eine solche Lage an, daß die eine Stelle der stärksten Anziehung sich so ziemlich nach Norden, die andere nach Süden richtet. Weil er in dieser bestimmten Lage stets in Ruhe bleibt, nennt man das nach Norden gerichtete Ende des Magneten den Nordpol, das nach Süden gerichtete den Südpol. Nordmagnetismus kann bezeichnet werden mit $+M$, Südmagnetismus mit $-M$.

Armatur. Legt man um die am stärksten anziehenden Stellen n und s eines natürlichen Magneten dünne Eisenplatten, welche mit parallelepipedischen Füßchen versehen (Fig. 109.) und durch Messingstreifen an dem Steine befestigt sind, so wird die Kraft der Pole mehr auf diese Eisenfüßchen konzentrirt, ohne daß sich die obigen Erscheinungen ändern. Diese Vorrichtung nennt man die Bewaffnung oder Armatur des natürlichen Magneten.

B. Künstliche Magnete.

Das Magnetisiren. Nähert man dem einen der beiden Magnetpole ein kurzes Stäbchen ab weichen Eisens (Fig. 109.) oder bringt dasselbe gar mit ihm in Berührung und taucht dann das von dem Magneten entferntere Ende b in Eisenfeile, so bleiben dieselben so lange daran hängen, als sich das Eisenstückchen noch in dem Wirkungskreise des Magneten befindet; bei allmähliger Entfernung fallen die Eisenfeile auch allmählig ab und das Eisen für sich zieht nicht weiter an. Bei erneuter Annäherung und selbst auch bei Umkehrung des Stäbchens wiederholt sich diese Erscheinung. Daraus folgt, daß das weiche Eisen vorübergehend magnetische Erscheinungen zeigen kann. Legt man ein Eisenstäbchen cd, Anker, (Fig. 110.) quer über beide Polfüße des Magneten, so bleibt es nicht nur selbst hängen, sondern ist bei stärkeren Magneten im Stande, noch Gewichte zu tragen. Nimmt man aber statt des Eisens ein Stahlstäbchen und läßt es längere Zeit hindurch in Berührung, so zeigt es einen, wenn auch noch schwachen bleibenden Magnetismus; es ist ein künstlicher Magnet.

Es giebt verschiedene Methoden zunächst aus einem natürlichen stärkere künstliche Magnete zu machen.

a) Man setzt die Polfüße des natürlichen Magneten auf einen Stahlstab in der Mitte auf, fährt damit abwechselnd nach beiden Enden und hebt den Magneten wieder in der Mitte auf, nachdem man beide Hälften des Stabes gleich oft, etwa 20 mal, gestrichen hat: der Doppelstrich.

b) Man setzt den einen Polfuß auf die Mitte des Eisenstabes auf, führt ihn von da wiederholt bis über das eine Ende hinaus, indem man stets wieder in der Mitte aufsetzt; mit dem anderen Polfuße und der anderen Hälfte des Stabes verfährt man eben so, streicht aber beide Hälften gleich oft: der einfache Strich. Wenn man sich auf diese Weise zwei gleich starke Magnetstäbe bereitet hat, so lassen sich dieselben zur Erzeugung neuer Magnete verwenden.

c) Man setzt zwei gleich starke Magnetstäbe mit ungleichnamigen Polen unter Winkeln von etwa 30° auf die Mitte eines Stahlstabes, führt die Magnete gleichzeitig auf dem Stabe bis nach den entgegen gesetzten Enden des Stabes, hebt sie dort ab und wiederholt dies Verfahren 15 bis 20 mal: der getrennte Strich.

Noch schneller kommt man hierbei zum Ziele, wenn der zu magnetisirende Stab selbst schon zwischen den ungleichnamigen Polen n und s (Fig. 111.) zweier Magnetstäbe liegt, wobei aber die Streichmagnete so aufgesetzt werden müssen, daß sich ihre Pole n′ und s″ den gleichnamigen Polen jener entgegen gesetzt bewegen. Auch beim Doppelstriche kann der Stab auf gleiche Weise zwischen zwei Magnete gelegt werden. Bei ihm

sind seltener die beiden Hälften genau gleich stark magnetisch. Statt dem Magneten die grade Stabform zu geben, kann er auch hufeisenförmig gebogen sein.

d) Man lege vier Stahlstäbe zu einer vierseitigen Figur an einander und fahre wie beim Doppelstriche mit den beiden Polen eines Magneten rings herum mehre male über die Stäbe weg: der Kreisstrich.

Magnetisirt man einen dünnen Stahlstreifen, welcher meist die Form eines sehr verschobenen Rhombus hat (Fig. 112.), und unterstützt ihn durch eine senkrechte Stahlspitze, die in einer kleinen (mit Agat ausgelegten) Vertiefung laüft, so daß er sich frei und leicht in einer horizontalen Ebene bewegen kann, so nennt man einen solchen Magneten eine Magnetnadel. Befindet sich eine so aufgestellte Magnetnadel in einer kreisförmigen, mit einer Glasscheibe bedeckten Kapsel, deren Peripherie in mehr oder weniger gleiche Theile (Himmelsgegenden) getheilt ist, so heißt diese Vorrichtung ein Kompaß (Boussole).

Orientirung auf dem Meere, in großen Wäldern, Steppen, Bergwerken.

C. Gesetze der Wirkung.

a) Gesetz der Anziehung und Abstoßung. Nimmt man zwei gleich große und möglichst gleichmäßig magnetisirte Nadeln und nähert das Nordende der einen dem Nordende der anderen oder das Südende dem Südende, so flieht ein Pol vor seinem gleichnamigen: gleichnamige Pole stoßen einander ab; nähert man aber dem Nordpole des einen den Südpol des anderen oder umgekehrt, so zeigt sich das Bestreben lebhafter Anziehung: ungleichnamige Pole ziehen einander an.

Eine freie horizontal schwebende Magnetnadel kann durch eine andere in der Hand gehaltene oder durch einen Magneten sowohl durch Anziehung als auch durch Abstoßung zum wiederholten Drehen im Kreise gezwungen werden. Mittel die Art der Polarität eines Magneten kennen zu lernen. Durch Abstoßung ist die Entscheidung sicherer, als durch Anziehung. — Magnetische Spielereien.

b) Gesetz der Vertheilung. Mag Eisen durch Annäherung oder Berührung mit einem Magneten vorübergehend oder Stahl durch Bestreichen bleibend magnetisch gemacht werden, so verliert der Magnet doch nichts von seiner Kraft; er giebt nichts ab oder es findet keine Mittheilung des Magnetismus statt. Es ist also in Eisen und Stahl, selbst wenn sie sich nicht magnetisch zeigen, Magnetismus vorhanden, aber in einem unfreien oder gebundenen Zustande. Nähert man aber einem Eisenstabe n′ s′ (Fig. 113.) einen Magnetpol, z. B. den Nordpol n, so zerlegt dieser den Magnetismus des Stabes in seine zwei entgegen gesetzten Bestandtheile, indem er den Südpol s′ an sich zieht, den Nordpol n′ abstößt (Probe durch eine Magnetnadel). Bei der Entfernung des Magneten vereinen und neutralisiren einander die entgegen gesetzten Polaritäten des Eisenstäbchens und es hört auf Magnet zu sein. Wird dem Nordpole n des Magneten n s, während er das Eisenstäbchen s′ n′ trägt, ein möglichst gleich starker Südpol s″ genähert oder mit ihm in Berührung gebracht, so beschäftigt s″ das n, so daß letzteres aufhört nach außen wirksam zu sein, und es fällt daher das Eisenstäbchen um so eher ab, je schwerer es ist. Die Magnetismen n und s″ neutralisiren einander in ähnlicher Weise, wie es vorhin im Eisenstabe geschah.

So wie ein Magnet ein einzelnes Eisenstück durch Vertheilung zu einem Magneten macht und es auch nur als solchen anzieht, so kann auch letzteres auf ein zweites, dieses auf ein drittes u. s. w. vertheilend wirken und auf diese Weise eine ganze Kette von kleinen Magneten gebildet werden. (Fig. 114.) Daraus erklärt sich die Bildung der Fäden aus den Feilspänen von Eisen. Die einzelnen Fäden aber bestehen für sich durch die Abstoßung der in ihren Theilchen nach derselben Richtung liegenden gleichnamigen Polaritäten. Ist z. B. der anziehende Nordpol des Magneten nach unten gerichtet, so haben auch alle Eisentheilchen die Nordpolarität nach unten. Dieselbe Erscheinung tritt recht deutlich hervor, wenn man ein Bündel loser Eisendrähte von dem einen Pole eines Magneten anziehen läßt. (Fig. 115.) Richtet man demnach die ungleichnamigen Pole zweier Magnete parallel nach derselben Richtung, wie bei einem Hufeisen-Magneten, so haben auch die nach derselben Richtung liegenden Enden der Eisentheilchen entgegen gesetzte Magnetismen, ziehen also einander an und es bildet sich durch sie gleichsam eine **Brücke** zwischen den beiden Polen. (Fig. 116.)

Magnetische Figuren, welche durch Magnetstäbe hervorgebracht werden, auf die man ein Blatt Papier legt, welches mit Eisenfeilen bestreut wird.

D. Verbreitung des Magnetismus in einem Magneten.

Wenn man einen Eisendraht, während er an einem Magneten hängt, also magnetisch ist, in seiner Mitte mit einer Kneipzange durchschneidet, so hört die abgefallene Hälfte augenblicklich auf ein Magnet zu sein, oder der in ihr durch Vertheilung vorhanden gewesene Magnetismus ist in dieser Hälfte verschwunden und das neue Ende der anderen Hälfte zeigt nun die Polarität desselben. Wiederholt man das Abschneiden beliebig oft, so zeigt sich stets dieselbe Erscheinung. Zerbricht man aber einen spröden Stahlmagneten, so zeigt jedes Bruchstück seine entgegen gesetzte Polarität nach seiner ursprünglichen Lage. Daraus folgt, daß die beiden Polaritäten eines jeden vorüber gehenden oder bleibenden Magneten sich nicht auf zwei bestimmte Theile, etwa die beiden Hälften, desselben beschränken, sondern daß die einzelnen Moleküle eines Magneten beide Magnetismen getrennt enthalten, ohne daß ein Überströmen von dem einen zu dem anderen stattfände, sondern nur eine gegenseitige Erregung. Denken wir uns nämlich in Fig. 117. unter den Oblongen die Moleküle, unter ihrem schattirten Theile den Nordmagnetismus (+ M), unter dem anderen den Südmagnetismus (— M), so müssen nach dem Gesetze der Vertheilung die gleichnamigen Polaritäten auch nach derselben Richtung liegen. + M des Theilchens a zieht — M des b an und sie binden einander, so daß ihre Thätigkeit nach außen o ist; es wird also + M des b frei; wir wollen + 1 als seine Größe annehmen. Nun ist zwar + M des a gebunden, aber sein — M ist wirksam auf c; es stößt das — M desselben ab, zieht + M an, letzteres aber wegen der größeren Entfernung von a weniger, so daß ein größerer Antheil von + M in c frei wird. Da c von a weiter entfernt ist als b, so wird das + M des c noch mehr frei von dem Einflusse des — M in a, als es bei dem + M von b der Fall war. Diesen freien Antheil von + M in c wollen wir mit + 2 bezeichnen. In gleicher Weise werden die + M der folgenden Theile d, e, f, g um so freier,

je weiter sie von — M des a entfernt sind, so daß sie mit + 3, + 4, + 5, + 6 bezeichnet werden können. Ganz in gleicher Weise wird die Wirkung des — M in b, dessen + M von — M in c gebunden wird, auf die Theile c, d, e, f, g beurtheilt und das freie + M derselben + 1, + 2, + 3, + 4, + 5 gefunden. Die Wirkung des — M in c ist auf d, e, f, g nach der Ordnung + 1, + 2, + 3, + 4 u. s. w. für das — M der folgenden Theile. Summirt man nun die Wirkungen des nach der einen Richtung hervortretenden Magnetismus, so bekommt man die Reihe + 1, + 3, + 6, + 10, + 15, + 21. Betrachtet man ferner ganz eben so die Wirkung des + M von g auf — M von f, e, d, c, b, a, von f auf — M von e, d, c, b, a u. s. w., so erhält man als Resultat der Gesammtwirkung nach der anderen Richtung — 1, — 3, — 6, — 10, — 15, — 21. Werden nun die zusammen gehörigen, einander entgegen gesetzten Wirkungen addirt, so ist das Endresultat, welches in die Erscheinung tritt, — 20, — 12, — 4, + 4, + 12, + 20; d. h. es giebt in jedem Magneten eine Stelle ohne Wirkung (da einander hier die benachbarten + 4 und — 4 aufheben), eine **Indifferenzstelle**, **Mittellinie** und die Intensität der beiden Polaritäten wächst nach den Enden zu in steigender Progression.

Wäre man von der Vorstellung nicht einer ungraden, sondern einer graden Anzahl von Molekülen ausgegangen, so kommt man zu demselben Resultate; z. B. für 6 Theilchen nach der einen Richtung + 1, + 3, + 6, + 10, + 15, nach der anderen — 1, — 3, — 6, — 10, — 15; also die Summen — 14, — 7, 0, + 7, + 14.

Der einem Magneten nur genäherte Eisenstab besitzt ebenfalls eine Indifferenzstelle; bei der Berührung beider rückt der Indifferenzpunkt von jenem der Berührungsstelle näher.

Liegt ein Eisenstab zwischen den entgegen gesetzten Polen zweier gleich starken Magnete, so ist der freie Magnetismus jeder Hälfte des Stabes gleichnamig mit dem diese Hälfte berührenden Magnetpole und die Indifferenzstelle ist in der Mitte.

Jede der beiden magnetischen Polaritäten verbreitet sich über einen größeren Raum des Magneten; es ist nun aber für den nach außen hervortretenden Erfolg gleichgiltig, ob er als hervorgebracht angesehen wird durch die an den einzelnen Punkten des Magneten angreifenden Kräfte, oder durch ihre an einem gewissen Punkte angreifende Resultirende. Diese Angriffspunkte der Resultirenden für jede Polarität liegen bei einem dünnen ganz gleichförmig gearbeiteten und magnetisirten Stabe von 6 bis 8 Zoll Länge 18 Linien von den beiden Enden entfernt, und sind die eigentlichen **Magnetpole**, ihre Verbindungslinie die **magnetische Axe**. Bei kürzeren Stäben liegen die Pole von den Enden um etwa $\frac{1}{3}$ der halben Länge entfernt.

Die Vorstellung, daß die Indifferenzstelle keinen Magnetismus besitze, erweiset sich also nach dem Obigen als falsch, indem wirklich jedes, auch noch so kleine Stahltheilchen für sich polarmagnetisch mit getrenntem Nord- und Südmagnetismus ist und beim Zerbrechen eines Magneten alle Theile selbstständige Magnete sind. Werden mehre in grader Richtung liegende Stahlstäbe zugleich magnetisirt, so werden die mittelsten grade die kräftigsten Magnete. Wird daher ein magnetischer Stab mit seinen ungleichnamigen Polen zwischen zwei andere Magnetstäbe gelegt, so wird er dadurch kräftiger (Bewaffnung eines Magneten); also ist die Mitte eines Magneten eigentlich wohl am kräftigsten magnetisch, nur daß ihr Magnetismus nach außen zu nicht wirksam erscheint.

Jene Indifferenzstelle kann nun dadurch sichtbar gemacht werden, daß man entweder den Magneten in Eisenfeilen wälzt, oder daß man ein Papier, unter welchem ein Stabmagnet liegt, mit Eisenfeilen recht gleichmäßig bestreut, oder daß man eine kleine horizontal frei an einem Faden schwebende Magnetnadel (Probirnadel) verschiedenen Stellen des künstlichen oder natürlichen Magneten bald mit dem einen, bald mit dem anderen Pole nähert.

Koerzitivkraft. Schon der Bruch des Stahles zeigt, daß bei ihm die innere Anordnung der Theilchen eine ganz andere ist, als beim Eisen; bei jenem ist er mehr körnig und zackig, als bei diesem, indem sich hier ein innigeres Verschmelzen und Verschwimmen der Theilchen zeigt. Durch die verschiedenen Grade des Härtens und Anlassens können dem Stahle sehr entgegen gesetzte Eigenschaften ertheilt werden: man kann aus ihm höchst elastische Federn machen (Stahlbrillen); dann Stäbe, welche sich hämmern lassen wie Eisen, auch Instrumente, welche spröde sind wie Glas (Feilen, Meißel). Je härter und spröder der Stahl ist, desto mehr widerstrebt er der Zerlegung seines Magnetismus; ist aber die Trennung einmal erfolgt, so ist sie eine dauernde. Diese Doppelrichtung von Beharrungsvermögen des Magneten nennt man Koerzitivkraft. Sie ist der Grund, weßhalb ein Stahlstab auch so magnetisirt sein kann, daß nach seiner Längenrichtung mehre Male + M und — M abwechseln: Folgepunkte.

Wiederholung des Versuches in Fig. 114. mit kleinen Stahlzylindern. Stahlfeile hängen sich nicht so schnell an einen Magneten. Die Härtung des Stahles geschieht dadurch, daß man ihn hellrothglühend macht und dann schnell in Wasser, Öl oder Quecksilber u. a. ablöscht; das Anlassen, daß man glasharten Stahl über Kohlen allmählig erwärmt und ihm dadurch seine ursprüngliche Härte und Sprödigkeit allmählig nimmt. Dabei wird er zuerst (bei 200° Wärme) blaßgelb, bei größerer Hitze orange, dunkelorange, violett, lebhaft blau, grünlich blau (450°), dunkelroth, hellkirschroth. Blau angelassener hat eine für Anfertigung von Magneten hinlänglich starke Koerzitivkraft.

Holt man mit einem kräftigen Magneten ein Stäbchen von rothglühendem englischen Gußstahl aus dem Feuer und löscht es am Magneten schnell ab, so bekommt man einen glasharten Magneten, der mit einem seiner Pole wohl das Zehnfache seines Gewichtes trägt.

E. Sättigungspunkt.

Der Grad der magnetischen Kraft, welchen eine bestimmte Stahlstange oder Stahlnadel als höchsten erlangen kann, hängt theils von der Stärke des streichenden Magneten, theils von der raümlichen Ausdehnung und der Koerzitivkraft des zu behandelnden Stahles ab. Streicht man Nadeln von bestimmten Formen und Größen mit verschieden starken Magneten auf gleiche Weise, so geben schwächere Magnete auch schwächere Nadeln. Eine bestimmte Nadel kann aber nicht über eine gewisse Gränze hinaus bleibend magnetisirt werden; würde sie stärker magnetisirt, so würde sie auch bald einen Theil ihrer magnetischen Kraft verlieren. Man kann also beim Magnetisiren durch beliebig fortgesetztes Streichen die Kraft nicht etwa nach Belieben vergrößern; denn mit jedem folgenden Striche wird die Zunahme des Magnetismus immer geringer und wenn der Widerstand der Koerzitivkraft gleich ist der zerlegenden Kraft des Streichmagneten, so hilft weiteres Streichen nicht mehr.

Daß mit Vermehrung der Masse eines Magneten bei gleichbleibender

Stärke der einzelnen Theile und unveränderter Koerzitivkraft seine Gesammtkraft wachsen muß, ist an sich klar.

Wenn einzeln magnetisirte Hufeisen oder auch Stäbe von gleichen Dimensionen mit ihren gleichnamigen Polen nach derselben Richtung so dicht an einander gelegt oder geschraubt werden, daß sie einen einzigen Magneten bilden, so erhält man kräftige magnetische Batterien oder Magazine. Sie tragen wohl das 20fache ihres eigenen Gewichtes; aber ihre magnetische Kraft ist kleiner, als die Summe der magnetischen Kräfte der einzelnen Magnete, von denen die inneren schwächer sind als die äußeren, wenn sie auch vorher gleich stark waren.

F. Einfluß der Wärme und des Lichtes auf den Magnetismus.

Erwärmt man einen natürlichen oder künstlichen Magneten, so vereinigen sich nach und nach die beiden getrennten Polaritäten mit steigender Wärme. Für eine bestimmte Wärmestufe ist auch der Verlust an magnetischer Kraft ein bestimmter, wobei aber der Magnet einige Zeit dieser bestimmten Wärme ausgesetzt bleiben muß; tritt das Weißglühen ein, so ist aller Magnetismus zerstört oder der Magnet zeigt sich gegen Eisen oder einen anderen Magneten indifferent und er kann nur durch neues Härten seine Koerzitivkraft wieder erhalten. Ebenso wird auch weißglühendes Eisen von einem Magneten nicht mehr angezogen. Nur Kobalt zeigt selbst beim Weißglühen noch Magnetismus; Nickel verliert ihn großentheils — für die gewöhnlichen Prüfungsmittel ganz — bei 350° (Schmelzpunkt des Zinkes), Braunstein (Mangan) schon bei 20 bis 25°, aber Chrom erst beim Dunkelrothglühen.

Setzt man die eine Hälfte einer unmagnetischen Stahlnadel violetten, blauen oder grünen Strahlen (unter gefärbtem Glase, im Farbenbilde des Prismas, durch Umwickelung mit farbigem Bande) aus, so wird die Nadel magnetisch und die so behandelte Hälfte bekommt den Nordpol.

G. Erhaltung und Stärkung der magnetischen Kraft.

Wenn die Koerzitivkraft bei einem vorhandenen Magneten allein und unverändert in einem vollkommenen Grade wirksam wäre, so bliebe die Kraft eines bestimmten Magneten ewig unverändert, in welcher Lage und unter welchen Körpern er sich auch befände. Aber abgesehen davon, daß heftige Erschütterungen, Vermehrung von Wärme, und chemische Veränderungen des regulinischen Metalles (das Rosten) die magnetische Kraft schwächen, bedarf auch die Koerzitivkraft einer Unterstützung. Dieses geschieht dadurch, daß man den Magnet beschäftigt oder ihm zu tragen giebt, wodurch seine nach außen gerichtete Thätigkeit auch eine Trennung der Polarität seiner Moleküle aufrecht erhält und erkräftigt. Hierbei ist klar, daß ein Magnet mehr trägt, wenn die ganze Last aus Eisen ist, als wenn noch andere Körper angehängt werden, daß er ferner ein Stück Eisen von größerem Gewichte hebt, wenn dieses auf Eisen, als wenn es auf Holz liegt, daß die Bewaffnung eines natürlichen Magneten seine Kraft vermehrt und daß endlich ein Anker von unmagnetischem Eisen, in welchem erst Magnetismus erregt werden muß, weniger wirksam sein kann, als wenn man einen Magneten durch einen zweiten in der Art beschäftigt, daß die ungleichnamigen Pole in gegenseitige Berührung kommen. (Fig. 118.,1.)

Deßhalb geschieht auch das Magnetisiren schneller und intensiver, wenn man die Enden des Metallstabes (oder Hufeisens) zwischen entgegen gesetzte Pole von Magnetstäben legt.

Bei der Berührung der ungleichnamigen Pole zweier Magnete wird der Magnetismus eines jeden durch den Einfluß des anderen verstärkt, am kräftigsten an der Berührungsstelle. Dadurch entsteht in jedem Magneten eine ungleiche Vertheilung des Magnetismus und die Indifferenzpunkte nähern sich dem Berührungspunkte, wobei innerhalb dieser Gränzen nach dem Berührungspunkte zu die Intensität des freien Magnetismus abnimmt. Legt man aber an einen Magnetstab einen Stab von weichem Eisen, so zeigt dieser seiner ganzen Länge nach denselben freien Magnetismus, ohne von jenem abgestoßen zu werden. Eine gleiche Erscheinung tritt ein, wenn an einen Hufeisenmagneten ein gleich großes Hufeisen von weichem Eisen gelegt wird, wo an den Krümmungen zwei Indifferenzstellen entstehen und an jeder Berührungsstelle Eisen und Magnet einerlei Polarität besitzen. Diese paradoxe Erscheinung läßt sich aber erklären. Berührt der Eisenstab ns (Fig. 119.) den Nordpol N des Magneten, so zerlegt dieser den Magnetismus aller Theilchen a, b, c, d, e... des Stabes in der Art, daß der Südpol eines jeden nach N, der Nordpol nach n gerichtet ist. Da aber N auf diese Theilchen um so weniger wirkt, je entfernter sie ihm liegen (auf a am wenigsten, auf e am meisten), so wird das — M des a kleiner, als + M des b, — M des b < + M des c u. s. w. sein und es muß bei der Neutralisirung des — M eines jeden vorangehenden Theiles mit dem + M des ihm folgenden ein Überschuß von freiem + M auf dem ganzen Stabe verbleiben, was aber, weil die magnetischen Differenzen nach n zu immer kleiner werden in dieser Richtung abnehmen muß. Die äußersten Theilchen bei s besitzen freies — M, welches von + M des N angezogen wird.

Magnetstäbe bewahrt man auf, indem man ihre entgegen gesetzten Pole nach derselben Seite richtet und dann, während sie parallel liegen, an jede Querseite einen Anker anlegt (Fig. 118,2.). Reißt man den Anker oder die Gewichte, welche ein Magnet zu tragen im Stande war, plötzlich ab, so ist seine Tragfähigkeit geschwächt und sie kann erst nach und nach wieder bis zu dem früheren Grade gesteigert werden. Weiches Eisen hält den Magnetismus lange und kräftig, wenn es einen Anker besitzt; reißt man ihn ab, so verliert es ihn meist plötzlich.

H. Magnetische Wirkungen der Erde.

a) Im Allgemeinen. Wenn man einen Magneten in die Lage versetzt, daß er sich frei bewegen kann (z. B. eine feine magnetische Nähnadel auf Wasser), so nimmt er bekanntlich an fast allen Orten auf und in der Erde eine bestimmte Lage gegen den Horizont an. Diese Lage ändert sich nur dann, wenn man ihm außerhalb der Richtung seiner Axe entweder weiches Eisen nähert, in dem er Magnetismus durch Vertheilung hervorruft, oder einen anderen Magneten. Nähert man nun einem Pole, z. B. dem Nordpole einer Nadel die ungleichnamigen Pole, also die Südpole, zweier ungleich starken Magnete von entgegen gesetzten Seiten in gleichem Abstande, so folgt der Nordpol der Nadel dem stärkeren Südpole und nimmt für eine bestimmte Lage jener eine bestimmte Stellung an; sowie aber die Stellung jener sich ändert, so ändert sich auch die Stellung der Nadel.

Nähert man ferner dem Nordpole der Nadel nur den Südpol eines Magneten von der einen Seite, so wird bei einem hinreichend schwachen Magneten oder bei einer hinreichenden Entfernung der Nordpol zwar abgelenkt, die Nadel stellt sich aber mit ihrer magnetischen Axe nicht in die Richtung des seitwärts gehaltenen Südpoles. Es muß also wohl ein stärkerer Magnet sie daran hindern. Dieser stärkere Magnet ist die Erde;

sie ist es auch, welche dem einzelnen Magneten seine Richtung anweiset, indem sie mit der Summe aller Kräfte, die den einzelnen wirksamen Theilen derselben zukommen, thätig ist. Nach dem Anziehungsgesetze muß sie im Norden Südpolarität (— M), im Süden Nordpolarität (+ M) besitzen.

b) Magnetische Abweichung. Die auf dem Horizonte senkrechte Ebene, in welcher die magnetische Axe eines horizontal frei beweglichen Magneten liegt, heißt der magnetische Meridian. Die rings um die Erde in sehr verschiedenen Längen und Breiten angestellten Beobachtungen zeigen, daß in nur wenigen Orten der magnetische Meridian in den astronomischen fällt, oder die Magnetnadel genau nach den Erdpolen hinweiset; an den meisten Orten bilden beide Meridiane einen Winkel; die magnetische Abweichung (Deklination; Deklinatorien mit Spiegel und Fernrohr), welche eine östliche oder westliche ist, jenachdem der Nordpol der Nadel östlich oder westlich vom Nordpole der Erde hinweiset. Im mittleren Deutschland ist jetzt die Deklination westlich etwa 18°. — Verbindet man alle diejenigen Orte der Erdoberfläche, welche dieselbe magnetische Abweichung besitzen, durch Linien, so heißen dieselben isogonische Linien; darunter ist auch eine Linie ohne Abweichung, in welcher der magnetische Meridian mit dem astronomischen zusammen fällt.

Die Linie ohne Abweichung geht mitten durch die Hudsonsbai, durchschneidet den östlichen Theil Nordamerikas, die Ostspitze Südamerikas und zieht sich in südöstlicher Richtung durch den atlantischen Ozean dem Südpole zu; von da geht sie nördlich durch den indischen Ozean nach der Mitte der Südküste Australiens, tritt an seiner Nordwestküste wieder heraus, um in einem großen Bogen durch das indische Meer und durch das südliche Asien, Ostindien umschließend nach der Ostküste Chinas zu gehen, von da durch das japanische Meer nordwärts, dann wieder in einem großen südlich gerichteten Bogen durch Sibirien, um endlich, das weiße Meer durchschneidend, sich dem Nordpole zuzuwenden. Der Theil der Erdoberfläche, welcher wie Europa und Afrika diesseits dieser die Erde umschließenden Linie liegen, hat eine westliche Abweichung, der übrige, wie der stille Ozean und fast ganz Amerika, eine östliche.

Die isogonischen Linien sind nicht parallel, sondern konvergiren nach zwei Punkten der Erdoberfläche, welche die Magnetpole der Erde sind. Der eine liegt etwa 70° nördliche Breite und 97° westliche Länge von Greenwich (an der Nordküste Nordamerikas), der andere 75° südliche Breite und 154° östliche Länge (im südlichen Eismeere, südöstlich von Neuholland).

Bei der Umfahrung der magnetischen Pole, welche als die Angriffspunkte der Resultirenden aller erdmagnetischen Kräfte nicht an der Erdoberfläche liegen, (Parry, Roß, 1822 — 1833) macht die Magnetnadel einen vollständigen Kreislauf; in der unmittelbaren Nähe des Poles zeigt sie gar keine Richtkraft mehr, folgt vielmehr dem täglichen Laufe der Sonne. Die Linie ohne Abweichung geht durch die astronomischen und magnetischen Pole der Erde.

Astatische Nadeln. Äußerst schwach magnetisirte Nadeln werden nur eine geringe Richtkraft oder das Vermögen, sich in den magnetischen Meridian zu stellen, nur in einem geringen Grade besitzen, also auch sehr leicht durch den Einfluß eines anderen schwachen Magneten aus ihrer Richtung können gebracht werden. Dasselbe wird der Fall sein mit einem Systeme aus zwei fast genau gleich stark magnetisirten und parallel an einer festen Axe ac mit den ungleichnamigen Polen nach derselben Richtung

gelegten Magneten. (Fig. 120.) Solche Vorrichtungen nennt man astatische Nadeln.

Die Magnetnadel in einem Schiffskompasse wird durch das auf dem Schiffe befindliche Eisenwerk oft bedeutend aus dem magnetischen Meridiane gezogen. Da nun dieses Eisen wohl meist seine bestimmte Stelle behält, also bei jeder Lage des Schiffes gleichmäßig ablenkend einwirkt, so kann der Nadel durch ein seitwärts zweckmäßig angebrachtes Stück Eisen die richtige Lage im magnetischen Meridiane wieder gegeben werden und dann erst ist sie zum Orientiren brauchbar.

c) Magnetische Neigung. Hängt man eine unmagnetische Stahl-Nadel (Stab) in ihrem Schwerpunkte auf, so bleibt sie, horizontal gelegt, im Gleichgewichte; wird sie dann aber magnetisirt, so senkt sich in den meisten Theilen der nördlichen Halbkugel das Nordende abwärts, gleich als ob die Nordhälfte schwerer geworden wäre, und in den meisten Theilen der südlichen Halbkugel das Südende. In jenem Falle muß also die in der Nordhälfte der Erde thätige magnetische Kraft auf das Nordende der Nadel stärker wirken, als die in der Südhälfte auf das Südende; in diesem Falle umgekehrt. Der Winkel, welchen die Axe der so frei im magnetischen Meridiane schwebenden Magnetnadel mit der Durchschnittslinie des magnetischen Meridians und des Horizontes bildet, wird die Neigung, Inklination, genannt. (Inklinatorien)

Wenn man in der nördlichen Halbkugel der Erde von Norden nach Süden, in der südlichen von Süden nach Norden geht, so kommt man überall auf eine Stelle, in welcher beide magnetischen Kräfte der Erde einander das Gleichgewicht halten oder in welcher die in der Ebene des magnetischen Meridians schwebende und um ihren Schwerpunkt drehbare Nadel sich horizontal stellt. Verbindet man alle die Punkte, in welchen man dieses beobachtet, so bekommt man in der Nähe des astronomischen Äquators die Linie ohne Neigung oder den magnetischen Äquator

Der magnetische Äquator durchschneidet den astronomischen 5° und 180° östlich von Greenwich, geht vom ersten Durchschnittspunkte aus nördlich, nimmt von 50° östlich an, wo er eine Breite von 12° hat, eine südliche Richtung, lauft aber vom zweiten Durchschnittspunkte an im stillen Ozeane mit nur geringer südlicher Breite dem astronomischen Äquator fast parallel. Es ist also offenbar, daß die Kontinente vorzüglich die Unregelmäßigkeit seiner Gestalt bedingen, wie dieses auch schon bei der Lage der Linie ohne Abweichung der Fall war.

Je mehr man sich mit der Inklinationsnadel vom magnetischen Äquator nach Norden oder Süden begiebt, desto mehr senken sich die betreffenden Polenden der Nadel (Malta 53°, Marseille 63°, Paris 67°, Berlin 68°, Petersburg 71°) bis man auf Stellen kommt, in denen die Nadel senkrecht auf dem Horizonte steht: die magnetischen Erdpole (Roß). Werden nun die Punkte der Erdoberfläche, welche gleiche Neigung haben, durch Linien verbunden, so heißen dieselben isoklinische; sie laufen in der Nähe des magnetischen Äquators mit ihm fast parallel; je näher man aber den magnetischen Polen kommt, desto mehr krümmen sie sich um denselben, so daß diese Krümmungen auf die Lage jener schon hinweisen.

Sollen Magnetnadeln horizontal schweben, um sie als Deklinationsnadeln gebrauchen zu können, so muß an jedem bestimmten Punkte in der nördlichen Halbkugel das Südende der Nadel, in einem Punkte der südlichen Halbkugel

das Nordende etwas schwerer gemacht werden. — Versuch mit einer kleinen an einem Faden hängenden Magnetnadel, welche parallel über einem längeren Stabmagneten hingeführt wird — Sogenannte Terellen.

d) Wirkung der Erde auf weiches Eisen. Jeder Magnet wirkt richtend auf einen beweglichen Magneten; ein Stückchen weichen Eisens thut dies nur deshalb, weil es durch den Einfluß der Magnetnadel selbst zu einem Magneten geworden ist. Da nun aber jede freie Magnetnadel, auch ohne daß sie in der Wirkungssphäre eines benachbarten Magneten ist, eine bestimmte Richtung im Raume annimmt, so kann dies nur dadurch geschehen, daß die Erde als ein Magnet auf die Nadel wirkt. Ist die Erde als ein großer Magnet anzusehen, so muß sie auf weiches Eisen auch vertheilend wirken und zwar am meisten, wenn dieses in der Richtung der Inklination gehalten wird. Und in der That findet man bei einem etwa 5 oder 6 Fuß langen und in dieser Weise gerichteten Stabe aus möglichst weichem Eisen, daß bei uns sein unteres Ende die Polarität des Nordendes der Magnetnadel (+ M) angenommen hat, das obere die des Südendes (— M). Bei rascher Umkehrung des Stabes wird der Magnetismus eben so schnell umgekehrt. Der Versuch läßt sich auf Anziehung und Abstoßung machen.

Daraus folgt, daß man den Erdmagnetismus selbst zur Hervorbringung bleibender künstlicher Magnete anwenden kann. Ist die Koerzitivkraft des beim Versuche angewendeten Eisens etwas größer, so ist die Einwirkung des Erdmagnetismus langsamer, kann aber durch einige Hammerschläge beschleunigt und sogar fixirt werden, besonders wenn der Stab dabei auf einen anderen Eisenstab gestellt wird.

Feilen, Hämmer u. dergl Werkzeuge, die man schlägt oder mit denen man schlägt, werden leicht magnetisch. Eisenstangen von Blitzableitern. — Bei einem kurzen Stabe würden die Polaritäten nicht so rein und scharf hervortreten, eben so auch, wenn er nicht die Lage der Inklinationsnadel hätte. Brächte man ihn in eine auf der Neigungs- und Abweichungsnadel, also auch auf der Ebene des magnetischen Meridians senkrechte Lage, so würde er nicht magnetisch werden. (Eine Neigungsnadel, deren Drehungsaxe die Lage der Inklination hat, ist zu einer astatischen geworden.)

e) Gesammtwirkung des Erdmagnetismus auf eine Magnetnadel. Die Gesammtwirkung der Erde auf eine Magnetnadel besteht nicht in einer fortschreitenden Bewegung der letzteren, wie sie dieselbe annimmt, wenn sie frei schwimmend von einem Magneten in ihrer Nähe affizirt wird, sondern nur in der Annahme einer gewissen Richtung: nämlich eine auf dem Wasser schwimmende Nadel bewegt sich nicht nach Norden, sondern stellt sich nur in den magnetischen NS. Eben so wird eine magnetisirte Nadel durch die anziehende Kraft des Erdmagnetismus nicht schwerer sein, als sie vor dem Magnetisiren war. Der Grund davon liegt darin, daß jeder magnetische Pol der Erde wegen seiner zur Länge der Nadel außerordentlich großen Entfernung den einen Pol der Nadel eben so stark anzieht, als den anderen abstößt, und zwar in parallelen Richtungen. Ist (Fig. 121.) ns eine Magnetnadel, n der Nordpol, s der Südpol, ns′ die Richtung und Größe der Kraft des Erdmagnetismus, womit n angezogen, und ss′ ‖ ns′, womit s abgestoßen wird, endlich sn′ die Richtung und Größe der Kraft, womit s vom Erdmagnetismus ange-

zogen, und nn' || sn', womit n abgestoßen wird, so müssen die Resultirenden na und sb für beide Fälle parallel und gleich sein, weil ns' ⧺ ss' und sn' ⧺ nn' ist. Hierbei ist in der nördlichen Halbkugel ns' $>$ nn', sn' $<$ ss'. Die Nadel kommt nicht eher in Ruhe, als bis na und sb mit ns in derselben Ebene (dem magnetischen Meridiane, worin auch die Magnetaxe der Erde liegt) sich befinden, und die Wirkung der Erde auf sie ist als ein System von parallelen und entgegen gesetzten Kräften zu betrachten.

Die Richtung der Inklinationsnadel giebt für jeden außerhalb des magnetischen Äquators gelegenen Ort auch die Richtung an, in welcher der Erdmagnetismus wirksam ist. Da aber die Deklinationsnadel sich nur horizontal frei bewegen kann, so wird sie nicht durch die ganze Kraft k des Erdmagnetismus gerichtet; ein Theil desselben geht verloren. Durch folgende Betrachtung läßt sich der Theil r bestimmen, mit welchem sie sich richtet.

Wenn n (Fig. 122.) der Nordpol der Deklinationsnadel und zugleich der Angriffspunkt des ihn in der Richtung nb der Inklination (nbc $=$ anb $= \alpha$) ziehenden Erdmagnetismus ist, so muß die durch nb $=$ k dargestellte Kraft des letzteren in zwei Seitenkräfte aufgelöst werden, von denen die eine nc senkrecht auf die Nadel wirkt und durch den Widerstand ihrer Drehungsaxe aufgehoben wird und die andere na $=$ r horizontal, also allein zur Wirksamkeit kommt. Es ist $r = k \cos \alpha$, also $k = \frac{r}{\cos \alpha}$.

f) Intensität des Erdmagnetismus. Hält man dem einen Pole einer im magnetischen Meridiane in Ruhe befindlichen Nadel den freundschaftlichen Pol eines Magneten in derselben Ebene in grader Richtung gegenüber, so bleibt die Nadel im Gleichgewichte; sie kehrt aber, nachdem man sie daraus gebracht und losgelassen hat, mit Schwingungen von um so geringerer Dauer dahin zurück, je näher man den Magneten hält, gleich wie beim Pendel seine Annäherung an den Erdmittelpunkt die Oszillationen beschleunigte. Welcher Natur die bewegenden Kräfte auch immer sein mögen, stets verhalten sich die zu einer gewissen Anzahl von Schwingungen erforderlichen Zeiten, die Schwingungszeiten (Z : z) oder die zu einer Schwingung erforderlichen Dauern (D : d) wie umgekehrt die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften ($\sqrt{k} : \sqrt{K}$) nämlich

$Z : z = D : d = \sqrt{k} : \sqrt{K}$ oder $Z^2 : z^2 = D^2 : d^2 = k : K$; d. h.? Weil nun aber die Schwingungsdauern (D:d) mit den Schwingungszahlen (s:S) oder der Anzahl der in einer bestimmten Zeit vollendeten Schwingungen in umgekehrtem Verhältnisse stehen, nämlich $D : d = s : S$, so folgt, daß auch

$s : S = \sqrt{k} : \sqrt{K}$ oder $s^2 : S^2 = k : K$; d. h.: die beschleunigenden Kräfte verhalten sich wie die Quadrate der Schwingungszahlen.

Wenn z. B. eine bestimmte und sich in ihrer Kraft gleich bleibende Nadel an dem einen Orte der Erdoberfläche doppelt so viele Schwingungen in einer Sekunde machte, als an einem anderen Orte, so würde die beschleunigende Kraft hier viermal so groß sein, als dort.

Auf diese Weise läßt sich nun durch Versuche die relative Größe der magnetischen Intensität verschiedener Orte der Erde bestimmen. Sie nimmt zwar im Allgemeinen vom magnetischen Äquator gegen die Pole zu und

ist hier gegen 1,5 mal größer, als dort; aber sie ist weder in den an der Erdoberfläche sich zeigenden Magnetpolen am größten (da die resultirenden Polaritäten im Innern der Erde ihren Angriffspunkt haben), noch in allen Punkten des Äquators gleich. Werden die Punkte gleicher Intensität verbunden, so bekommt man die isodynamischen Linien, welche nicht mit dem magnetischen oder astronomischen Äquator parallel laufen, sondern eine vorzüglich durch die Hauptmasse der Kontinente bedingte Lage haben.

Zu den Intensitätsversuchen müßte man, um unmittelbare Resultate zu erhalten, eigentlich Inklinatorien anwenden; da aber ihre genaue Anfertigung und Aufstellung schwierig ist, so bedient man sich der Deklinatorien, auf welche bei der Neigung α der Theil r der magnetischen Erdkraft k gleich ist $k . \cos \alpha$, also $k = \frac{r}{\cos \alpha}$. Wenn für einen zweiten Ort die Neigung a, die erdmagnetische Kraft K, also $K = \frac{R}{\cos a}$ ist, so steht

$k : K = \frac{r}{\cos \alpha} : \frac{R}{\cos a}$ und weil die Kräfte, welche die Deklinationsnadel zur Ruhe bringen, sich wie die Quadrate der Schwingungszahlen verhalten ($r : R = s^2 : S^2$), so ist auch

$k : K = \frac{s^2}{\cos \alpha} : \frac{S^2}{\cos a}$. Man muß also, um das Verhältniß der Kräfte des Erdmagnetismus an zwei verschiedenen Orten zu bestimmen, daselbst die Schwingungszahlen derselben Deklinationsnadel und die Inklination beobachten.

Methode, durch die coulombsche Drehwage (Torsionswage) die Intensität zu messen. Durch Schwingungsbewegungen an einer Nadel, die in einer auf dem magnetischen Meridiane senkrechten Ebene schwingt, läßt sich auch die magnetische Neigung α bestimmen. Die erdmagnetische Kraft K wirkt auf eine solche Nadel nicht ganz, sondern nur mit der senkrechten Komponenten $k = K \sin \alpha$. Wenn nun die Nadel im magnetischen Meridiane in einer bestimmten Zeit S Schwingungen, in einer darauf senkrechten Ebene in derselben Zeit nur s macht, so steht, weil die beschleunigenden Kräfte sich wie die Quadrate der Schwingungszahlen verhalten,

$S^2 : s^2 = K : K \sin \alpha$, also $\sin \alpha = \frac{s^2}{S^2}$.

g) Periodische Veränderungen des Erdmagnetismus. Die Beobachtungen sowohl der Deklinations- als Inklinationsnadel an einem bestimmten Orte beweisen, daß der Erdmagnetismus nach Richtung und Stärke namhaften Veränderungen ausgesetzt ist. Diese sind a) periodisch regelmäßige, b) unregelmäßige. Die ersteren, welche man Variationen nennt, finden statt α) entweder im Laufe von Jahrhunderten oder β) täglich oder γ) jährlich; die letzteren, die Perturbationen, finden zu keiner bestimmten Zeit statt.

α) Die Deklination ist an einem bestimmten Orte nicht entweder blos westlich oder blos östlich, sondern sie wird im Laufe der Jahrhunderte (säkulare Variationen) beides.

Z. B. in Paris betrug sie im Jahre 1580 $11\frac{1}{2}{}^\circ$ östlich, 1610 nur 8°, 1663 war sie 0°, im Jahre 1700 war sie schon $8\frac{1}{8}{}^\circ$ westlich, 1780 fast 20°, 1814 über $22\frac{1}{2}{}^\circ$, seit dieser Zeit aber bis jetzt nimmt die westliche Abweichung ab und es wird wohl wieder eine Zeit kommen, in der sie 0° wird und von da in eine westliche übergeht. Diese Bewegungen sind also höchst wahrscheinlich oszillatorische; aber in welchen Zeitraum sie eingeschlossen sind, kann bis jetzt wegen Unzulänglichkeit der Beobachtungen und der Unbekanntschaft mit ihrem wahren Grunde noch nicht angegeben werden.

β) Mit Sonnenaufgang (im Mittel etwa gegen 7 Uhr) bewegt sich

nördlich vom magnetischen Äquator das Nordende der Deklinationsnadel nach Westen, mittags gegen 1 Uhr erreicht die westliche Ablenkung ihr Maximum und geht dann wieder nach Osten zurück; zwischen 10 und 12 Uhr in der Nacht tritt ein zweites Minimum, zwischen 2 und 4 Uhr morgens ein zweites Maximum ein. In größeren Breiten sind im Allgemeinen die täglichen Variationen größer und weniger regelmäßig, selbst in der Nacht ist die Nadel unruhiger; am magnetischen Äquator betragen sie nur 3′ bis 4′; südlich davon nehmen sie eine entgegen gesetzte Richtung an, d. h. hier geht das Südende nach Westen, während dort das Nordende dieses that.

γ) Die Weite der täglichen Schwingungen ist nach Jahreszeiten verschieden; sie beträgt z. B. zu Göttingen im Januar 3,25 Minuten, wächst von da bis in den Mai auf etwa 12′ an und nimmt dann allmählig wieder ab. An manchen Tagen beträgt die Tagesvariation bis zu 25′.

Auch die Inklination ist an einem bestimmten Orte keine beständige; sie ist nicht nur täglichen und jährlichen, wenn auch sehr kleinen, Variationen unterworfen, sondern sie nimmt auch nach den fast seit 100 Jahren angestellten Beobachtungen ab. In Berlin z. B. hat sich dieselbe in den letzten 40 Jahren um 2° vermindert (1806 war sie 69° 53′).

Aus den angeführten Erscheinungen ist es zwar außer allem Zweifel, daß die in den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten veränderte Stellung der Sonne an einem bestimmten Orte und die dadurch bedingte Wärmedifferenz an verschiedenen Orten die Veränderung in der Deklination, Inklination und Intensität einer Magnetnadel, also auch in der Lage und Kraft der magnetischen Pole der Erde bewirken (Wärme schwächt bekanntlich den Magnetismus); aber die Gesetze, nach denen diese Veränderungen erfolgen, können erst dann ermittelt werden, wenn aus den seit 1828 an allen Theilen der Erdoberfläche angestellten magnetischen Beobachtungen die Resultate werden gezogen sein. Auffallend ist hierbei, daß das Minimum der Deklination in den Januar, das Maximum in den Mai fällt, und in jenem Monate die Prozente der Luftfeuchtigkeit am größten, in diesem am kleinsten sind. Zur Zeit der höchsten Jahrestemperatur im Julius hat die Variation schon wieder abgenommen.

Die Intensität des Erdmagnetismus hat täglich auch zwei Maxima (10—11 Uhr abends und 3—4 Uhr morgens) und zwei Minima (12—1 Uhr nachts und 9—11 Uhr morgens; ihre Zeiten treffen in wärmeren Monaten auf frühere Stunden, in kälteren auf spätere. Am Tage ist die Intensität kleiner, als in der Nacht.

h) Störungen oder Perturbationen der Magnetnadel. Bisweilen entdeckt man bei Beobachtungen der Magnetnadel innerhalb dieser regelmäßigen Variationen ein unruhiges Zittern und unregelmäßiges Schwanken, welches nicht zu den obigen Erscheinungen gehört. Diese Störungen werden gleichzeitig an den verschiedensten Orten wahrgenommen und sind die Vorboten und Begleiter eines Nordlichtes, wodurch es seine Existenz mit Sicherheit anzeigt, selbst wenn es sich der Beobachtung an dem betreffenden Orte entzieht. Je näher die Nadel der Erscheinung ist, desto größer sind die Störungen derselben.

Erdbeben, Ausbrüche von Vulkanen, heftige Gewitterstürme lenken ebenfalls die Magnetnadel ab.

Dritter Abschnitt.

Elektrizität.

A. Elektrizität durch Reibung: statische Elektrizität.

I. Elektrische Erscheinungen.

1) **Im Allgemeinen.** Reibt man Bernstein (ἤλεκτρον), Schwefel, Siegellack, Schelllak, Pech, Kolophonium (überhaupt alle harzigen Körper wie Gutta-Percha), Glas, trockenes Holz, Seide u. a. Körper mit wollenem oder haarigem Zeuge (Tuch, Katzenpelz, Fuchsschwanz) oder reibt man Glas mit Leder, worauf Quecksilberamalgam (1 Theil Zinn, 1 Theil Zink, 2 Theile Quecksilber) gestrichen ist, oder siebt man pulverisirte Körper, so erlangen sie die Eigenschaft, leichte Körper, wie Papierstreifen, Federn, Metallblättchen, Korkstückchen, Sägespäne, Stroh u. a., anzuziehen, wobei ein schwaches Knistern hörbar und im Finstern ein schwacher Lichtschein sichtbar wird. Diese Erscheinungen heißen **elektrische** und die Ursache derselben heißt **Elektrizität** (E).

Eine geriebene Siegellackstange wird nur an der geriebenen Stelle elektrisch, sie leitet also die E nicht weiter fort, die E ist daselbst im Zustande des Gleichgewichtes (**statische** E) und eben deßhalb läßt sich auch an dieser Stange durch Reibung dieselbe entwickeln und zur Erscheinung bringen; reibt man dagegen eine in der Hand gehaltene Metallstange, so zeigt sich keine Spur von E. Entweder läßt sich an dem Metalle die E gar nicht entwickeln oder, wenn es der Fall ist, sie verbreitet sich im Augenblicke der Entstehung von der geriebenen Stelle aus über das ganze Metall, bildet einen elektrischen Strom (**mechanische** E) und entweicht durch den menschlichen Körper in den Erdboden.

2) **Leitungsfähigkeit der Körper.** Um zu untersuchen, welche Ansicht die richtige ist, hänge man ein aus dem Mark einer Sonnenrosenstaude gemachtes Kügelchen an einen Faden aus Schelllack oder Seide, ein anderes Kügelchen der Art an einen Metallfaden. Berührt man das erste mit der geriebenen Stelle einer Siegellackstange, so nimmt es dadurch alle Eigenschaften eines elektrischen Körpers an oder es ist elektrisirt; aber bei dem letzteren gelingt dies durchaus nicht. Also leitet das Schelllack, die Seide und die anderen Körper der Art die E nicht weiter, wohl aber das Metall. Es giebt demnach **Leiter** und **Nichtleiter** für die Elektrizität.

Um dafür noch eine Bestätigung zu gewinnen, kann man an einen von zwei Seidenfäden einen Metallkörper, an den anderen einen Harzkörper aufhängen und jeden von ihnen mit einer Elektrizitätsquelle an einer einzelnen Stelle in Verbindung bringen; so wird sich der Metallkörper auch an anderen Stellen elektrisch zeigen, der Harzkörper aber nur an der berührten Stelle. — Wenn man eine Glasröhre durch einen Kork schließt, durch diesen einen Metalldraht steckt, welcher sich in eine Metallkugel endigt, so wird die durch Reibung am Glase entwickelte E sich durch den beliebig langen Draht der Kugel mittheilen; ist aber der Draht an einer Stelle durch eine seidene Schnur unterbrochen, so bleibt die Kugel, so wie der Draht jenseits der Schnur unelektrisch.

Es läßt sich unter den mannigfachen Körpern in Betreff des Leitungsvermögens keine scharfe Gränze ziehen, indem viele Körper weder zu der einen noch zu der anderen Klasse gehören; man nennt sie wohl **Halbleiter**, wie Papier, Elphenbein, Kreide, überhaupt die Erden und die

meisten Steine. Die Fähigkeit der absoluten Leitung oder Nichtleitung hat eigentlich kein Körper, sondern es giebt nur gute und schlechte Leiter in verschiedenen Abstufungen. Ein guter Leiter wird durch Berührung mit einem elektrischen Körper überall elektrisch und verliert auch die E überall, wenn sie ihm auch nur an einem Punkte sollte entzogen werden; ein schlechter Leiter empfängt und verliert die E nur an der berührten Stelle.

Alle Flammen, die keine schwebenden Kohlentheilchen, sondern nur glühende Gase enthalten, auch der glühende Wasserdampf sind Leiter, ebenso Wasser, der thierische Körper, alle Metalle, Kohle. — Nichtleiter sind: Schwefel, Harze, Bernstein, Siegellack, Phosphor, Glas, gedörrtes Holz, trockene Luft, Federn, Haare, Wolle, Seide, die durchsichtigen Edelsteine. — Halbleiter werden die Nichtleiter dann, wenn sie feucht sind, z. B. feuchte Luft, Marmor, Alabaster, Papier. — Nichtleiter werden zu guten Leitern, wenn sie aus dem festen Zustande in den flüssigen übergegangen sind. Glühendes Glas leitet.

Ohne daß ein elektrischer Körper von schlechten Leitern umgeben ist, er mag ein Leiter oder Nichtleiter sein, lassen sich elektrische Erscheinungen an ihm nicht wahrnehmen. Das Verfahren, einen Körper von allen Leitern abzusondern, nennt man das Isoliren.

Ein Metallkörper, hängend in Seidenschnüren oder ruhend auf Glasfüßen, die noch mit einem Lack (einer Auflösung von Schelllack in Weingeist) oder Firniß überzogen sind, ist in trockener Luft isolirt. Je feuchter die Luft ist, desto weniger isolirt sie, weil Wasser und Wasserdampf zu den guten Leitern gehören; weßhalb namentlich feinere elektrische Versuche in feuchter Luft nicht gelingen. — Jeder Isolator hört auf zu isoliren, wenn er feucht ist. — Der Isolirstuhl ist ein Brett auf Glasfüßen. — Ein Scheibchen aus Goldpapier an einem Schelllackstäbchen ist isolirt: Probescheibchen. — Die Elektrizitätsleiter sind beim Magnetismus zu vergleichen mit weichem Eisen, die Nichtleiter mit Stahl.

3) Gesetz der Anziehung und Abstoßung. Wir wollen nun untersuchen, ob alle durch Reibung elektrisch gemachten Körper dasselbe Verhalten zeigen. Um aber eine durchgreifende Vergleichung anstellen zu können, muß der Körper, mit welchem man reibt, oder das Reibzeug für die verschiedenen geriebenen Körper dasselbe sein, weil sonst ein etwa ungleiches Verhalten von dem Reibzeuge abhängig sein könnte. Man nehme eine Siegellackstange und eine Glasröhre und reibe sie mit wollenem Zeuge derselben Art; man hänge ferner an zwei Seidenfäden zwei leichte Kügelchen eines Leiters und elektrisire 1) beide mit Siegellack, 2) beide mit Glas, 3) das eine mit Glas, das andere mit Siegellack, so stoßen in jedem der beiden ersten Fälle die Kügelchen einander ab und ziehen im letzten Falle einander an. Wenn man 4) nur das eine Kügelchen nimmt und dasselbe entweder mit Glas oder mit Siegellack elektrisirt, so wird es jedesmal nach der Elektrisirung von dem betreffenden Körper abgestoßen, und endlich 5) wenn es zwischen beide elektrisirte Stangen gehalten wird, so oszillirt es zwischen ihnen. Daraus folgt offenbar, daß die E nicht als eine in sich und ihren Wirkungen homogene Kraft auftritt, sondern daß sie in sich selbst einen Gegensatz enthält, wie der Magnetismus, welchen wir mit +E und —E bezeichnen wollen, so zwar, daß das mit Wolle geriebene Glas +E, das mit Wolle geriebene Harz —E besitzt. Im Obigen liegt nun das Gesetz: gleichnamige Elektrizitäten (+E und +E oder —E und —E) stoßen einander ab, ungleichnamige (+E und —E) ziehen einander an.

4) **Jeder Körper enthält beide Elektrizitäten.** Wird Glas mit Wolle oder Seide gerieben, so zeigt es + E; reibt man aber dasselbe Glas mit einem Katzenpelze, so zeigt es — E. Dieselbe Erscheinung findet sich auch bei anderen Körpern. Seide z. B. wird negativ oder positiv elektrisch, jenachdem wir sie mit Harz oder glattem Glase reiben; Harz wird durch ein metallisches Amalgam positiv, durch ein thierisches Fell negativ. Daraus läßt sich vermuthen, daß keiner der elektrischen Gegensätze an einen bestimmten Körper gebunden ist oder daß wohl jeder Körper beide Gegensätze in sich schließt. Zeigt ein Körper gar keine elektrischen Erscheinungen, so halten die elektrischen Gegensätze desselben einander das Gleichgewicht oder sie binden einander vollständig, so daß also der unelektrische Zustand eines Körpers durch ± E ausgedrückt und als der natürliche, ungezwungene angesehen werden kann, weil + E und — E dem gegenseitigen Bestreben zur Verbindung einander genügen. Das Hervortreten des einen Elementes bedingt aber auch das Ausscheiden des anderen und es wird daher bei der Operation des Reibens zweier Körper der reibende die eine und der geriebene die andere E besitzen. Unter allen Umständen treten beide elektrischen Gegensätze auf.

Hält man z. B. an zwei isolirenden Glasstäbchen zwei Scheiben von verschiedenartigen Körpern (z. B. die eine von Glas, die andere von Holz, überzogen mit amalgamirtem Leder) und reibt sie an einander, so erhält die eine + E, die andere — E. Jede, auch eine geringe Verschiedenheit selbst gleichartiger Scheiben bringt diesen Gegensatz hervor, z. B. verschiedene Glätte (der rauhere bekommt meist — E, der glattere + E), Farbe oder Temperatur der geriebenen Flächen, eine verschiedene Anordnung der Fasern: ein schwarz seidenes Band wird, mit einem weißen gerieben, negativ elektrisch; von zwei Stücken desselben Bandes, die man kreuzweise reibt, wird das fest gehaltene positiv, das andere, welches nach der Quere gerieben wird, negativ elektrisch (von diesem wird ein kleinerer Theil aber mehr gerieben, als von jenem) u. s. f.

Wenn von zwei auf Isolirschemeln befindlichen Personen die eine die andere mit einem recht trockenen Katzenfelle reibt oder schlägt, so zeigt die eine + E, die andere — E.

Zur Entwickelung der elektrischen Gegensätze ist nicht nothwendig, daß ein Körper an dem anderen gerieben wird, sondern selbst ein bloßer Druck des einen auf den anderen ist ausreichend, oder das Zertheilen und Stoßen eines Körpers (krystallisirten Zuckers, der Kreide).

Hält man z. B. an einer isolirenden Handhabe eine Metallplatte und drückt sie auf Wachstaffet, so wird sie positiv, der Taffet negativ elektrisch. Auch viele Mineralien (Kalkspath, Topas, Flußspath, Glimmer u. a.) werden durch Druck selbst auf längere Zeit elektrisch. Elektrische Kalkspathnadel. Hervorbringung eines Wärmeunterschiedes ist auch mit Elektrizitätserzeugung verbunden.

Der Turmalin wird durch Erwärmen in der Art elektrisch, daß das eine Ende + E, das andere — E besitzt; durchbricht man einen elektrischen Turmalin, so zeigt sich dasselbe bei den Stücken. Beim Erkalten eines elektrischen Turmalins verschwindet die E für einen Augenblick, um in den entgegen gesetzten Zustand überzugehen. — Beim Boracit und Titanit tritt sowohl während ununterbrochen steigender als sinkender Temperatur in den elektrischen Polen ein Wechsel der Elektrizität ein.

Bei zwei guten Leitern, wie Metallen, reicht zur Entwickelung der E die bloße Berührung hin; aber weil die Metalle der Wiedervereinigung der beiden elektrischen Gegensätze nur einen sehr geringen Widerstand entgegen

setzen, so können die auf solche Weise entwickelten Elektrizitäten nur sehr schwach sein.

5) Elektroskope. Es ist vor allem wichtig, Instrumente zu besitzen, welche theils das Vorhandensein der E bezeugen, theils die Mittel an die Hand geben, die Art derselben ausfindig zu machen; sie heißen Elektroskope. Das einfachste ist zwar das oben schon angeführte elektrische Pendel, aber es ist zu feineren Untersuchungen unzureichend. Stellt man auf eine feine Stahlspitze einen ganz leichten, in der Mitte mit einem Achathütchen und an den Enden mit kleinen Hohlkügelchen versehenen Messingdraht, so ist dies eine sehr leicht bewegliche elektrische Nadel, welche von einem auch nur schwach elektrischen Körper angezogen wird. Sehr empfindlich ist auch Coulomb's Elektroskop. An einem Kokonfaden, welcher um ein horizontales Stäbchen drehbar ist, um ihn zu verlängern oder zu verkürzen, hängt ein feines Schelllackstäbchen, an dessen einem Ende ein Scheibchen von Rauschgold befindlich ist, horizontal. Wird letzterem ein elektrischer Körper (z. B. ein Metallkügelchen) genähert, so wird es zuerst angezogen und dann abgestoßen. Das Ganze ist durch Glas gegen Luftzug geschützt.

Mittel, durch Elektroskope die Art der E zu untersuchen.

6) Elektrometer. Es ist oft nicht hinreichend zu wissen, ob und welche E vorhanden ist, man verlangt auch ein Maß für ihre Stärke. Instrumente, welche diese angeben, heißen Elektrometer. Wenn man zwei leicht bewegliche Körper, z. B. zwei zarte Strohhalmstückchen oder zwei kleine Streifen von Goldschlägerhaut, welche parallel neben einander hängen, mit gleichnamigen Elektrizitäten versieht, so werden sie um so mehr divergiren, je intensiver die E wirkt. Ein eingetheilter Kreisbogen unterhalb der Blättchen giebt die Größe der Divergenz an und ein das Ganze umschließendes Glasgefäß verhindert die Störung der Bewegung durch Luftzug; die Blättchen selbst hängen an einem Metallstäbchen, welches isolirt durch den Deckel des Glases geht und oben in eine Schraube endet, um entweder ein Metallkügelchen oder eine Metallplatte aufzuschrauben. Bei manchen befindet sich am Boden ein Schieber, um durch hinein gebrachtes Chlorkalzium die Luft möglichst trocken zu erhalten.

Schraubt man auf einen isolirten elektrischen Körper (den Konduktor einer Elektrisirmaschine) senkrecht ein Messingstäbchen, an dessen Ende ein Korkkügelchen beweglich an einem leitenden Faden oder Stäbchen angebracht ist, so wird sich letzteres emporheben, wenn jener Körper elektrisirt wird, weil auch das Stäbchen und Kügelchen dieselbe E bekommen; die Größe der Hebung kann durch einen eingetheilten Kreisquadranten gemessen werden: Quadrantenelektrometer.

Am empfindlichsten sind die Elektrometer, welche sich darauf gründen, daß ein sehr beweglicher horizontaler Hebel von einem feststehenden, daneben befindlichen, auch horizontalen elektrisirten Körper abgestoßen wird, daß dieser Abstoßung eine mit der Größe des Ausschlagswinkels wachsende Kraft (Torsionskraft) entgegen wirkt und daß somit aus der Größe des Winkels auf die Menge der mitgetheilten E geschlossen werden kann. (Coulomb, Örsted, Dellmann, Kohlrausch.)

Die Zuführung der E geschieht durch ein kleines Metallscheibchen (Probescheibchen) oder eine kleine Kugel an einer Schelllackstange von ½ Linien Dicke.

7) Elektrisir-Maschinen. Die oben angeführten Methoden, Elektrizität zu entwickeln, geben nur einen geringen Grad derselben; man ist daher auf die Zusammensetzung von Maschinen bedacht gewesen, welche die elektrischen Erscheinungen in einem größeren Maßstabe darstellen lassen. Die jetzt üblichen Elektrisirmaschinen bestehen 1) aus einer recht ebenen kreisförmigen, um ihre Axe durch eine Kurbel leicht drehbaren Glasscheibe (bis zu 5′ Durchmesser): der geriebene Körper; 2) einem gepolsterten und mit Quecksilberamalgam (2 Theile Quecksilber, 1 Theil Zink, 1 Theil engl. Zinn) bestrichenen Lederkissen, welches durch elastische Federn leicht an die Glasscheibe angedrückt wird und deßhalb die Scheibe bei ihrer Drehung auf beiden Seiten reibt: der reibende Körper, das Reibzeug, und 3) aus einem isolirten Metallzylinder, Konduktor, welcher durch metallene Zuleiter mit den beiden geriebenen Flächen der Glasscheibe in Verbindung steht. Bei vielen Maschinen ist das Reibzeug mit einem zweiten isolirten Konduktor in Verbindung. Wird eine solche Maschine mit zwei isolirten Konduktoren in Thätigkeit gesetzt, so bekommt der Konduktor der geriebenen Scheibe +E, der des Reibzeuges —E, aber in keinem bedeutenden Grade, weil +E und —E einander anziehen und unwirksam zu machen streben. Leitet man aber durch einen Metalldraht die —E des Reibzeuges in den Erdboden, so tritt +E kräftiger auf, so wie wenn man in dieser Art +E ableitet, —E mit größerer Intensität erscheint.

Der aus Spalten oder engen Öffnungen eines Dampfkessels strömende und sich an den Wänden reibende wasserhaltige Dampf wird positiv elektrisch, wenn die Ausströmungsröhren von Holz, Glas oder Metall sind; negativ, wenn etwas Terpentinöl in dieselben gelassen wird; kaum eine Spur von E zeigt sich, wenn die Röhren von Elfenbein sind. Isolirt man daher im ersten Falle einen Dampfkessel und läßt den Dampf gegen Metallspitzen, die mit dem Erdboden leitend verbunden sind, ausströmen, so erhält er dadurch eine sehr kräftige negative Elektrizität. Hydroelektrisirmaschinen können Funken geben bis zu 22 Zoll Länge.

II. Freie und gebundene Elektrizität durch Vertheilung.

Jede Elektrizität eines Körpers zieht nicht nur bereits vorhandene ungleichnamige eines anderen Körpers an und stößt die gleichnamige ab, sondern hebt auch den Indifferentismus eines genäherten unelektrischen Körpers auf und bewirkt eine Elektrisirung durch sogenannte Influenz, so daß nie ein elektrischer Körper einen unelektrischen anzieht. Wir können uns hierbei zwei Hauptfälle denken, nämlich: a) es sind zwei Leiter, von denen wenigstens der eine elektrisirt ist, getrennt durch einen unelektrischen Nichtleiter, z. B. durch Luft oder Glas; b) zwei nicht elektrische Leiter sind getrennt durch einen elektrischen Nichtleiter. In jedem von diesen Fällen können die Elektrizitäten entweder

α) freie, nach außen zu wirksame oder

β) gebundene, nach außen unwirksame sein.

a) Zwei Leiter, von denen der eine elektrisch ist, sind getrennt durch einen unelektrischen Nichtleiter.

α) Freie Elektrizitäten durch Vertheilung.

1) Ist A (Fig. 123.) ein positiv elektrischer Körper und nähert man

ihm einen isolirten unelektrischen Metallzylinder B, welcher an mehren Stellen mittelst Leinenfäden oder zarten Metalldrähten angehängte Paare von Korkkügelchen trägt, so zeigt sich am näheren Ende — E, am entfernteren + E und die Divergenz der einzelnen Paare von Kügelchen ist an den Enden am größten, nimmt nach der Mitte zu von beiden Seiten ab, um dort zu verschwinden.

Ein an einem dünnen Schelllack- oder gefirnißtem Glasstäbchen gehaltenes und mit einer bestimmten E versehenes Scheibchen von Rauschgold (Probescheibchen), kann dienen, die Art der E ausfindig zu machen.

2) Entfernt man B von A ohne letzteres berührt zu haben, so fallen die Kügelchen überall zusammen, indem + E und — E auf B sich mit einander wieder vereinen und so den früheren Zustand des Indifferentismus wieder herstellen; es ist dann alle Wirkung nach außen verschwunden und von A ist keine E auf B übergegangen, sondern die E von A hat durch ihre Annäherung an B in diesem nur eine Zerlegung, eine Vertheilung hervorgebracht

3) Hat der Zylinder B die Einrichtung, daß seine beiden Hälften isolirt aus einander genommen werden können, und thut man dieses während er dem elektrisirten A genähert ist, also seine Kügelchen divergiren, und entfernt dann A, so divergiren die Kügelchen jeder Hälfte mit der ihr zugehörigen E. Nähert man dann die Hälften einander hinreichend, so springt ein Fünkchen über und die Divergenz der Kügelchen hört auf, zum Zeichen, daß alle E verschwunden ist. Daraus folgt, daß bei der Erscheinung des elektrischen Funkens eine Vereinigung entgegen gesetzter Elektrizitäten statt findet.

Statt des Zylinders kann man zwei einander berührende gleich große Metallkugeln dem A gleich weit nähern, die dann auch gleiche Elektrizitätsmengen besitzen.

4) Nähert man aufs Neue B dem mit + E elektrisirten A und berührt, während die Kügelchen divergiren, von jenen das entferntere Ende n mit dem Finger oder einem anderen mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Leiter, wobei ein Funken entsteht, so verschwindet + E augenblicklich, die Kügelchen fallen zusammen, gehen aber, wenn man den Finger wegnimmt, sogleich wieder aus einander und zwar mit einer von m nach n zunehmenden — E, welche erst dann bei m in gleicher Stärke wie bei n hervortritt, wenn man A entfernt und dadurch — E an m frei macht.

5) Hätte man n schon vor und während der Annäherung des Zylinders B an A leitend berührt, so würde jener zwar während der Annäherung keine E zeigen, aber nach Wegnahme des Fingers nnd seiner Entfernung von A auch freie — E besitzen.

6) Nähert man dem A wieder B, während man n fortwährend ableitend berührt, so besitzt B nur — E, welches aber durch + E von A beschäftigt wird, so daß die Kugeln nicht divergiren, weil + E in den Erdboden abgeleitet worden ist. Vergrößert man nun die Annäherung, so vermag die isolirende Luftschicht zwischen A und B die angestrebte Vereinigung nicht mehr zu hindern und es erscheint der Funke.

7) Nähert man das isolirte und zunächst unelektrische B dem mit + E elektrisirten A so weit, daß ein Funke erscheint, daß sich also + E des A

mit —E des B verbindet, so fallen in dem Momente des Schlages die Kügelchen der genäherten Hälfte zusammen, divergiren aber sofort wieder und zwar mit einer von n nach m zunehmenden +E, welche nach der Entfernung des A gleichmäßig hervortritt. Es hat also B eben solche E wie A und deßhalb pflegt man sich des falschen Ausdruckes zu bedienen: A hat dem B Elektrizität mitgetheilt. Der wahre Vorgang ist aber dieser: Jeder Elektrisirung eines Körpers B durch einen anderen A geht eine elektrische Vertheilung auf jenem und eine sich im Funken zeigende Aufhebung des Gegensatzes von A voran.

8) Nähert man dem positiv elektrischen A einen schlechten Leiter B, so wird in dem genäherten Ende desselben zwar auch —E durch Anziehung erzeugt und +E abgestoßen, letzteres kann aber wegen des Leitungswiderstandes nicht ans entgegen gesetzte Ende entweichen, sondern bildet hinter dem — E des B einen Gürtel. Dieser wirkt seinerseits auf die noch entfernteren Theile des B wieder vertheilend, so daß aufs Neue und so wiederholt Zonen abwechselnd von +E und —E entstehen, wie die Folgepunkte bei Magneten, aber mit abnehmender Ausdehnung.

9) Hängt man mittelst eines Metalldrahtes einen frisch präparirten Froschschenkel in die Nähe des Konduktors einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine, so wird die + E der Maschine in dem Froschschenkel eine Vertheilung erzeugen und die — E desselben anziehen. Nimmt man nun dem Konduktor durch einen anderen Leiter plötzlich sein +E, so muß sich das — E des Froschschenkels wieder mit dem + E, welches sich entfernt hatte, vereinigen. Diese mit Zuckungen verbundene Vereinigung nennt man den elektrischen Rückschlag. Steht man nicht isolirt in der Nähe einer sehr kräftigen Maschine und entladet ein Anderer den sehr geladenen Konduktor, so empfindet man einen ähnlichen Schlag.

Da die Größe der obigen Vertheilungserscheinungen von der Natur des isolirenden Zwischenkörpers abhängt, so pflanzt sich die Wirkung von einem Theilchen des Isolators zum anderen fort und ist nur im leeren Raume als unmittelbar in die Ferne gerichtet anzusehen.

Damit der vertheilende Körper nach allen Richtungen seine Wirkung äußern könne, läßt man eine elektrisirte, an einem langen Seidenfaden hängende Metallkugel in ein Metallgefäß und findet, daß sich die Divergenz des mit der äußeren Fläche verbundenen Goldblattelektrometers allmählig vergrößert, von einer gewissen Tiefe an aber unveränderlich bleibt, selbst dann noch, wenn die Kugel das Gefäß berührt; also die durch Vertheilung erregte E hat dieselbe Größe, wie die durch Mittheilung erzeugte. Dieselbe Erscheinung bleibt, wenn man mehre in einander geschobene isolirte Becher anwendet.

Aus den obigen Gesetzen erklären sich sehr viele elektrische Erscheinungen. Z. B. Nähert man einem elektrisirten Körper ein unelektrisches isolirtes Pendel aus einem Leiter, so wird in ihm durch Vertheilung der unelektrische Zustand aufgehoben, die gleichnamige E wird angezogen, die ungleichnamige abgestoßen Das Pendel bleibt aber nicht in Ruhe, sondern wird angezogen, weil die Abstoßung wegen größerer Entfernung der gleichnamigen E geringer, als die Anziehung ist. Während der Berührung wird die ungleichnamige aufgehoben, die gleichnamige bleibt allein zurück und bewirkt dann die Abstoßung des Pendels. Nimmt man nun diesem durch einen Leiter seine E, so kann derselbe Vorgang wiederholt werden. — Der Kugel- oder Puppentanz, die

elektrische Schaukel, das elektrische Glockenspiel; der elektrische Staubregen; das Aufblähen eines Büschels von Baumwolle oder einer zusammen gedrückten Flaumfeder; das Auseinandergehen der Fäden eines Büschels von gesponnenem Glase; das Straüben der Haare eines auf dem Isolirstuhle befindlichen und den Konduktor berührenden Menschen.

Nähert man eine mit Tuch geriebene Siegellackstange der Kugel eines Goldblattelektrometers, so divergiren die Blättchen mit — E; berührt man bei unveränderter Haltung des Siegellacks die Kugel mit dem Finger, so fallen die Blättchen zusammen und bleiben so, selbst wenn man den Finger entfernt; entfernt man dann auch die Siegellackstange, so divergiren sie mit + E; sie divergiren aber nicht mehr, wenn man zuerst das Siegellack und dann den Finger entfernt.

Wird einem elektrischen Körper ein nicht isolirter Leiter genähert, so erfolgt nur Anziehung und zwar so lange, als jener noch E besitzt.

Die E eines Körpers verbindet sich mit bereits frei vorhandener entgegen gesetzter eines anderen leichter, als mit solcher, welche erst durch Vertheilung hervorgerufen werden soll, zumal wenn dieser isolirt ist, also seine Elektrizitäten in verschiedener Art auf jene E wirken; daher ist unter übrigens gleichen Umständen in Nro 6. der Funke stärker, als in Nro. 7. und in letzterem Falle bedarf es zu seiner Erscheinung auch einer größeren Annäherung (geringeren Schlagweite) der Körper.

Ist ein Körper stark elektrisch, so zieht er einen anderen schwach mit gleichnamiger E versehenen Körper an, weil jener in diesem noch eine Vertheilung zu bewirken im Stande ist, wobei er die schon vorhandene E mit abstößt. Wegen dieser Thatsache ist bei der Untersuchung der Art von E die Anziehung nicht mit Sicherheit entschieden und man wird vielmehr den Versuch auf Abstoßung zu machen haben, wie beim Magnetismus. — Mittel durch das Goldblattelektrometer die Art der E zu untersuchen, ohne es mit dem elektrischen Körper in Berührung zu bringen.

β) Gebundene Elektrizität durch Vertheilung.

Nähert man zwei isolirte mit entgegen gesetzten Elektrizitäten gleichmäßig versehene Leiter einander, so ziehen sie einander an, beschäftigen oder binden einander in der Art, daß man abwechselnd die Leiter berühren kann, ohne ihnen die E ganz zu nehmen, wenn nur zwischen ihnen ein recht gut isolirender Körper, z. B. eine recht trockene Luftschicht vorhanden ist. Die Wirksamkeit dieser Elektrizitäten nach außen ist in diesem Zustande um so weniger vorhanden, je näher die Leiter einander sind. Luft als Isolator tritt aber der Vereinigung beider Elektrizitäten bei größerer Annäherung wegen ihrer großen Beweglichkeit nicht kräftig genug entgegen; nimmt man statt ihrer eine Glas- oder Harzschicht, so kann die Annäherung und dadurch die Bindung beider entgegen gesetzten Elektrizitäten bedeutend vergrößert werden.

Die elektrische (Franklinsche) Tafel oder Flasche. Man belege demnach eine Glastafel (quadratisch von etwa 1′ Seite Fig. 124,1.) auf jeder Seite mit Staniol und lasse am Rande einen freien Raum von etwa 3″ Breite, der zur besseren Isolirung mit Firniß (Schelllack, aufgelöst in Weingeist) überstrichen wird. Wenn man die eine Belegung a mit einer Quelle von positiver E in Verbindung bringt und sie mit einem bestimmten Quantum q′ von E versieht, so wird in der anderen Belegung b der natürliche unelektrische Zustand durch die eintretende Vertheilung aufgehoben, sein — E wird durch jenes + E beschäftigt, sein + E wird frei und kann ihm durch einen Leiter entzogen werden, indem man es entweder mit dem Erdboden oder mit dem — E des Reibzeuges der Maschine

verbindet, wodurch eine noch bessere Beseitigung des + E entsteht. Geschieht letzteres, so ist b ohne freie E, weil sein — E durch + E von a und dieses umgekehrt von jenem gebunden wird. Daraus folgt, daß a noch ein zweites Quantum q'' von + E annehmen kann. Wenn man nun das auch dadurch frei gewordene + E von b wieder entfernt, so kann auf a und b nach und nach eine bedeutende elektrische Spannung, eine elektrische Ladung, hervorgebracht werden.

Wenn auch die Entfernung beider Belegungen noch so unbedeutend ist, so ist doch eine gegenseitige vollständige Bindung nicht möglich; die einzelnen Theile q' + q'' + q''' u. s. w. der Ladung von a übertreffen die entsprechenden Theile der Ladung von b, also ist auch das a im Ganzen stärker, als b geladen und a hat somit einen Überschuß von freier + E, wenn b zuletzt ableitend berührt wurde. Will man nun dem a diesen freien Überschuß durch leitende Berührung entziehen, so verliert es mehr, weil seine E durch die des b nicht vollständig gebunden werden kann, und b hat nun einen Überschuß von freier — E. Durch abwechselnde Berührung von a und b mit einem Leiter kann man die Franklinsche Tafel eben so allmählig entladen, als sie geladen wurde. Die Existenz des abwechselnden Überschusses zeigt sich nicht blos in der Entstehung des Funkens bei der abwechselnden Berührung, sondern auch durch die abwechselnde Divergenz zweier von der oberen Kante der Scheibe auf die beiden Belegungen herabgelassenen isolirten Pendel.

Statt der Tafelform wendet man der leichteren Behandlung wegen lieber die eines zylindrischen Glases oder einer Flasche an und erweitert die innere Belegung durch einen von der Mitte ausgehenden und sich in einen Knopf endenden Metalldraht. — Leidener Flasche, Kleistsche Flasche, Ladungsflasche. Fig. 124,2.

Setzt man einen Glasbecher mit beweglichen Belegungen zusammen, indem man in einen Metallbecher ein gut einpassendes, aber mit seinem Rande überragendes Glas und in dieses wieder einen kleineren genau anschließenden und mit einem überragenden Knopfe versehenen Becher setzt, ladet denselben, setzt ihn dann auf einen Isolator, nimmt zuerst die innere Belegung aus dem Glase und zuletzt dieses aus der aüßeren Belegung; so kann man nun beide Belegungen leitend berühren und mit einander verbinden, ohne eine Spur von E zu entdecken. Wird aber das Ganze wieder zusammen gesetzt, ohne beide Belegungen dabei zugleich zu berühren, so ist der Apparat wieder geladen. Dies beweiset, daß die E nicht in den Belegungen, sondern in den beiden Flächen des Nichtleiters zu suchen ist, aber um so besser auf die Belegungen bei der Entladung übergeht und durch sie fortgeführt wird, je besser die Becher in einander passen.

Mittel, die Flasche entweder positiv oder negativ zu laden; Mittel, durch ein Probescheibchen die Art der E der beiden Belegungen zu untersuchen. Die elektrische Sperrflasche hat zum Zwecke, die E sehr lange zu erhalten.

Abhängigkeit der elektrischen Spannung. Die Größe der elektrischen Spannung in der Flasche ist abhängig:

1) bei einer Flasche von bestimmter Ausdehnung von der Dicke des Isolators; je dünner nämlich das Glas ist, desto mehr können die Elektrizitäten auf den entgegen gesetzten Flächen einander binden, desto mehr kann also jede aufnehmen. — Das Bestreben der Anziehung der

entgegen gesetzten Elektrizitäten beider Belegungen kann bei einem dünnen Glase eine Durchbohrung desselben zur Folge haben. Aber je dünner die isolirende Schicht ist, desto eher wird auch ein schwacher Grad von E auf der einen Belegung eine Vertheilung auf der anderen hervorbringen.

Schraubt man auf ein Goldblattelektrometer (Fig. 125.) eine recht ebene isolirte Metallplatte, die oben mit einer ganz dünnen Firnißschicht versehen ist, setzt darauf vermittelst einer isolirenden Handhabe eine zweite eben so präparirte Platte, bei welcher der Firniß unten ist, so ist zwischen zwei Leitern eine sehr dünne nicht leitende Schicht. Wenn man nun eine der Platten, z. B. die untere, Verdichtungs- oder Kondensatorplatte, mit einer schwachen, aber konstanten Elektrizitätsquelle in Berührung setzt und dabei die obere, Sammel- oder Kollektorplatte, ableitend berührt, so läßt sich durch Wiederholung des Verfahrens diese Vorrichtung, der Kondensator, ganz so laden, wie die Tafel oder Flasche. Hebt man dann die Kollektorplatte möglichst parallel von der Kondensatorplatte ab, so wird die E auf letzterer frei und die unmittelbar mit ihr in Verbindung stehenden Goldblättchen divergiren mit der E des zu untersuchenden Körpers.

Man könnte die Platten durch dieselbe E leicht auch umgekehrt laden.

Wenn man der in einem gewissen Grade elektrisirten Kondensatorplatte eine nicht isolirte Scheibe parallel nähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ab, erlangt aber ihre frühere Größe, wenn man entweder die zweite Platte ganz entfernt, oder bei ihrer früheren Stellung der Kondensatorplatte neue E in hinreichender Menge zuführt. — Wie lange die Kollektorplatte, namentlich wenn sie ableitend berührt wird, sich in der Nähe der elektrisirten Kondensatorplatte befindet, so lange ist auf dieser die E ungleich vertheilt und kann an den weniger dichten von jener Platte entfernten Stellen neue E aufnehmen. Je größer die Kondensatorplatten sind, desto mehr E können sie auf einer Flächeneinheit aufnehmen und bei sehr geringen Entfernungen derselben ist die Dichtigkeit der E auf der Kondensatorplatte nahe umgekehrt der isolirenden Schicht proportional. Es ist nicht gleichgiltig, an welcher Stelle die obere Platte ableitend berührt wird.

Durch den Kondensator läßt sich entdecken, daß alle Körper, besonders auch manche Mineralien, wie Topas, Flußspath, Kalkspath mit ebenen parallelen Flächen durch Druck, manche durch Trennung in ihre blättrigen Theile (Glimmer, Zucker), andere wie der Turmalin, der Borazit, durch Erwärmung oder Abkühlung (an dem einen Ende positiv, an dem anderen negativ) elektrisch werden — Also Bewegung der kleinsten Körpertheile, Molekularbewegung, wie sie beim Reiben, Drücken, Zertrennen, Erwärmen, selbst bei der Entstehung der Klangfiguren stattfindet, scheint der Grund für die Entstehung der E zu sein. — Zur Entdeckung äußerst schwacher Grade von E dient vorzüglich der Duplikator, welcher aus zwei besonderen Kondensatorplatten und einer Kollektorplatte besteht, welche abwechselnd und wiederholt auf sie gesetzt und dabei ableitend berührt wird, während erstere durch einen isolirten Leiter vor beginnender Wiederholung der Operation verbunden werden.

2) Die Größe der elektrischen Spannung hängt ferner ab von der Elektrizitätsquelle, mit welcher die eine Belegung in Berührung kommt. Verbindet man die innere Belegung einer isolirten Flasche leitend mit dem Konduktor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine, so nimmt sie und

der Zuleitungsdraht nur den Grad der elektrischen Spannung q des Konduktors an (eine isolirte Flasche kann also nicht geladen werden) und diese läßt sich, wie auch das Quadrantenelektrometer auf dem Konduktor zeigt, nicht vermehren. Diese Spannung hängt von der Maschine ab. Dieselbe Spannung hat aber die freie E der inneren Belegung nach Ladung der nicht isolirten Flasche und diese freie E ist bei einer bestimmten Flasche stets ein bestimmter Antheil, z. B. $\frac{1}{n}$ von der durch die äußere Belegung von ihr gebundenen, welche selbst gleich nq ist. Wenn also bei der Ladung einer Flasche die Spannung der gebundenen E n mal so groß ist, als die Spannung der E, welche auf der inneren Belegung entstanden wäre, wenn man die äußere Belegung isolirt hätte, so läßt sich die Ladung nicht mehr verstärken und erst dann ist die Spannung der freien E auf dem Konduktor eben so groß, als sie ohne dessen Verbindung mit der Flasche war.

3) Endlich hängt die Größe der Spannung von der Größe der Belegungen ab. Man kann zur Vergrößerung des Erfolges entweder die Flaschen und ihre Belegungen größer annehmen oder mehre Flaschen zu einem Systeme, einer elektrischen Batterie dadurch vereinen, daß man sowohl alle inneren Belegungen leitend unter einander verbindet, als auch alle äußeren für sich.

b) Zwei nicht elektrische Leiter sind getrennt durch einen elektrischen Nichtleiter.

1) Vertheilungserscheinungen. Nun wollen wir die Erscheinungen der Vertheilung und Bindung von E untersuchen, welche entstehen, wenn zwischen zwei nicht elektrischen Leitern ein elektrischer Nichtleiter sich befindet. Man lege auf die Metallplatte aa (Fig. 126.) des Goldblattelektroskopes eine dünne recht glatte und ebene Platte cc aus Schelllack von etwas größerem Durchmesser, als die Unterlage oder Basis. Wird das Schelllack unelektrisch aufgelegt, so bleiben die Goldblättchen bei einander; wird es aber während des Aufliegens mit einem Katzen- oder Fuchspelze geschlagen, so divergiren sie mit — E, weil durch die entwickelte — E des Schelllacks aus dem darunter befindlichen Apparate die + E angezogen und gebunden, die — E abgestoßen und frei wird. Hebt man die Schelllackplatte auf, so fallen die Pendel zusammen, weil + E und — E des Elektrometers einander wieder neutralisiren

Wenn man nun, nachdem man die elektrische Schelllackscheibe aufs neue aufgelegt hat, die freie — E des Elektroskopes durch Berührung der unteren Fläche von aa mit einem Leiter nimmt, so fallen die Pendel zusammen, weil die + E des Apparates durch — E des Schelllacks gebunden ist; hebt man aber dann das Schelllack auf, so divergiren die Pendel mit der nun frei gewordenen + E.

Liegt das elektrisirte Schellack auf der Platte des Elektroskopes und bringt man eine gleich große Metallplatte mittelst einer isolirenden Handhabe auf die obere Fläche des Schelllacks, so wird dieses Deckels + E angezogen, — E nach oben zu abgestoßen. Ist die Schelllacksplatte dünn genug, so entwickelt sich beim Schlagen mit dem Felle auf ihrer unteren Fläche zwar + E, diese läßt sich aber wegen ihrer Schwäche so lange nicht nachweisen, als nicht das — E der oberen Fläche vollständig beschäftigt

ist. Letzteres geschieht, wenn man dem Deckel durch ableitende Berührung sein — E entzieht. In demselben Augenblicke divergiren dann die Goldblättchen mit + E, weil das + E der unteren Fläche des Schelllacks auf der Basis — E anzieht und + E abstößt und frei macht. Hebt man in diesem Zustande den Deckel auf, so hat er freie + E, die Pendel fallen zusammen, gehen aber sofort nach dem Obigen mit — E wieder aus einander.

Läßt man den Deckel, nachdem man ihm das freie — E entzogen, auf der Schelllackplatte liegen und hebt ihn sammt dieser in die Höhe, so divergiren die Pendel nicht mehr, indem + E und — E der Basis sich mit einander wieder vereinen; aber wenn man, während der Deckel aufliegt, zugleich seine obere mit freiem — E versehene Fläche und die untere mit + E versehene Fläche der Basis ableitend berührt, wodurch eine vollständige Bindung und Beseitigung derselben eintritt, so werden die Pendel nach gleichzeitiger Aufhebung des Schelllacks und Deckels mit — E divergiren.

2) Der Elektrophor. Für den Gebrauch wird die Zusammensetzung eines elektrischen Nichtleiters mit zwei Leitern dadurch bequemer, daß man einen Harzkuchen (ein Gemisch aus 8 Theilen Kolophonium, 1 Theil Schelllack, 1 Theil venetianischem Terpentin oder auch 10 Theilen Gummilack, 3 Theilen Harz, 2 Theilen venetianischem Terpentin, 2 Theilen Wachs, ½ Theil Pech) in eine Metallform als Basis gießt und einen Deckel von Metall oder der Leichtigkeit wegen von Pappe mit einem metallischen Überzuge und etwas kleinerer Dimension an Seidenschnüren oder einer Glasstange isolirt anwendet. Ein solches Instrument wird ein Elektrophor genannt, weil es unter günstigen Witterungsverhältnissen seine Elektrizität Monate lang behält, wenn der Deckel auf ihm ruht und ableitend berührt worden ist.

Seine volle Brauchbarkeit erhält der Elektrophor nur dann, wenn er nicht isolirt ist. Ist er nämlich isolirt, so erhält der Deckel freie — E, die Basis freie + E, welches aber schwächer entwickelt ist, als das — E des Deckels. Damit der Deckel beim Aufheben + E habe, kann man ihn entweder allein ableitend berühren und ihm dadurch das — E entziehen oder ihn und die Basis zugleich, durch deren freies + E mehr — E im Deckel gebunden wird; die Basis zeigt dann nach Aufhebung des Deckels — E. Ist aber der Elektrophor nicht isolirt, so ist das freie + E nicht in der Basis zu entdecken, sondern verbreitet sich von ihr über den Erdboden in weit größerem Maße und deßhalb wird das — E des Deckels durch gleichzeitige ableitende Berührung von Basis und Deckel des nicht isolirten Elektrophors noch besser beseitiget, also auch das + E des aufgehobenen Deckels kräftiger.

Wird der Deckel vor dem Aufheben gar nicht berührt, so zeigt er bei guten Instrumenten keine E.

3) Ladung von Flaschen durch den Elektrophor. Durch den Elektrophor kann man eine elektrische Flasche positiv laden, wenn man den Deckel auf den Kuchen setzt, ihn (und die Basis zugleich) ableitend berührt, aufhebt und endlich mit der inneren Belegung der Flasche in Verbindung setzt, während die äußere ableitend gehalten wird. Stellt man

sie auf den Deckel, so daß ihre aüßere Belegung gleichsam eine Fortsetzung seiner oberen negativen Fläche wird, so hat nach dem Vertheilungsgesetze der Knopf freies — E, was ihm entzogen werden kann, so daß die innere Belegung nur noch + E besitzt, welche durch — E der aüßeren gebunden ist; hebt man nun den Deckel sammt der Flasche vom Kuchen ab, so hat er freies + E, welches vorher durch — E des Kuchens gebunden war; entzieht man ihm dieses, so hat er und die aüßere Belegung — E, welches durch die + E der inneren Belegung gebunden wird, so daß bei einem neuen Aufsetzen beider der frühere Vorgang wiederholt und die Flasche auch so positiv geladen werden kann.

Ladung der Flasche mit — E durch den Elektrophor. — Auch der unelektrische Elektrophor kann durch eine geladene Flasche positiv oder negativ geladen werden.

III. Gesetze des Gleichgewichtes der E bei Leitern.

a) Vertheilung der Elektrizität auf der Oberfläche der Leiter. In einem nicht elektrischen Körper halten + E und — E einander das Gleichgewicht oder sind an jeder Stelle desselben in gleichem Maße vorhanden. Hat aber ein Leiter freie E, so stoßen alle Elemente desselben einander ab und drängen einander so weit fort, bis sie auf einen Widerstand treffen. Diesen aber finden sie nicht im Innern des Leiters (indem hier Wirkung und Gegenwirkung benachbarter Elemente einander aufheben), sondern an der seine Oberfläche umgebenden Luft; daher ist alle E auf der Oberfläche der Leiter, so lange sie ringsum mit Nichtleitern umgeben sind, verbreitet. Dieses läßt sich leicht bestätigen.

1) Elektrisirt man eine isolirte Metallkugel, so wird das elektrische Gleichgewicht nur dann vorhanden sein, wenn die E auf der ganzen Oberfläche gleichmäßig vertheilt ist. Werden nun zwei genau gleich große und gleich beschaffene Kugeln elektrisirt während sie einander berühren, so muß die elektrische Spannung auf ihnen dieselbe sein. Trennt man sie nun und berührt mit der einen eine isolirte hohle, mit der anderen eine gleich große massive Kugel, so findet man durch das Probescheibchen oder Probekügelchen, daß beide Kugeln gleich viele E besitzen.

2) Elektrisirt man eine isolirte Metallkugel von etwa 6″ Durchmesser, welche eine Öffnung von 1″ hat, so erhält das in die Öffnung vorsichtig herabgelassene Probescheibchen keine Ladung.

3) Elektrisirt man eine isolirte Metallkugel und umgiebt sie dann mit zwei genau auf sie passenden und an isolirenden Handhaben gehaltenen Halbkugeln, so geht die E auf die Oberfläche der letzteren über und läßt sich mit ihnen fortnehmen.

Wenn E von einem isolirten Leiter auf einen zweiten übergeht, so vertheilt sie sich nach dem Verhältnisse der Oberflächen. Berührt man eine isolirte elektrisirte Metallkugel mit einer anderen gleich großen isolirten unelektrischen, so hat jene nach der Berührung die Hälfte verloren; wäre die Oberfläche der zweiten Kugel n mal so groß, als die der ersten, so würde jene nur $\frac{1}{n+1}$ ihrer früheren E behalten, und bringt man mit der elektrisirten Kugel die Oberfläche der Erde in Verbindung, so verliert sie ihre E ganz. Auf eine isolirte Metallkugel schlagen vom Konduktor der Maschine nur schwache Funken, auf eine nicht isolirte weit stärkere.

Die E ist auf einer isolirten Metallkugel nur so lange gleichmäßig vertheilt, als ihr kein anderer Körper genähert wird. Ladet man aber eine zweite Kugel derselben Art mit gleichnamiger E gleich stark und nähert sie jener, so stoßen diese gleichnamigen Elektrizitäten einander um so mehr ab, je mehr man sie nähert. Die Dichtigkeit der E wird auf beiden Kugeln in den einander am nächsten liegenden Punkten am kleinsten, in den entferntesten am größten und verschwindet in jenen bei der Berührung der Kugeln. Ganz ebenso wächst die Dichtigkeit der E bei einer Reihe gleich großer, einander berührender Kugeln oder bei einem zylindrischen Körper von der Mitte aus gegen die Enden und nimmt überhaupt in dem Verhältnisse zu, in welchem die Oberfläche des Körpers wächst und zugleich der Rauminhalt abnimmt. An Hervorragungen, Kanten und Spizzen ist daher die Dichtigkeit am größten.

Wenn in einer Reihe einander berührender Metallkugeln ihre Größe nach der einen Richtung wächst oder auch nur die eine Endkugel groß ist, so ist an dem Ende mit der kleinsten die E am stärksten. Will man daher (durch den Kondensator) sehr schwache Elektrizitätsquellen entdecken, so elektrisirt man durch sie zuerst einen größeren und durch diesen einen kleineren Körper (Kondensator). Größere Elektrizitätsmengen ordnen sich, sowie kleinere auf den verschiedenen Theilen eines bestimmten Körpers stets nach demselben Gesetze für den Zustand des Gleichgewichtes.

Die Schlagweite oder die Entfernung, bis auf welche von einem elektrischen Leiter ein Funke überspringt zu einem unelektrischen Leiter, hängt demnach von der Form der genäherten Körper ab; je kleiner die Oberfläche der genäherten Theile der Körper, auf desto weitere Entfernung springt der Funke über, z. B. auf die flache Hand weniger leicht, als auf den Knöchel eines Fingers. Die Schlagweite ist unter übrigens gleichen Umständen der Dichtigkeit proportional.

Hängt man durch Drähte an den Konduktor einer Elektrisirmaschine Metallkugeln von verschiedener Größe, so hat beim Vorhalten eines Leiters von bestimmter Form die kleinere eine größere Schlagweite, als die größere. Verdichtung der Luft vermindert die Schlagweite.

b) Wirkungen der E auf Leiter in die Ferne.

1) Berührt man eine isolirte Metallkugel mit dem Probescheibchen, überträgt die E auf die elektrische Wage, so läßt sich die Größe der abstoßenden Kraft der auf der Kugel wirksamen E beurtheilen; berührt man nun die Kugel mit einer anderen gleich großen unelektrischen und untersucht aufs neue die abstoßende Kraft einer jeden, so findet man sie nur halb so groß, als im vorigen Falle u. s. f. Daraus folgt, daß die bewegenden Kräfte der E bei bestimmter Entfernung in gradem Verhältnisse mit den elektrischen Spannungen (Elektrizitätsmengen) stehen.

2) Man bringe bei der elektrischen Wage die beiden Metallkügelchen an einander, ohne daß der Drahtfaden eine Drehung erfährt, elektrisire sie aus einer schwachen Elektrizitätsquelle mittelst eines isolirten Stecknadelknopfes, so wird der Hebel der Drehwage abgestoßen, z. B. um 12°. Wenn man dann, um den Hebel bis auf die Hälfte seines Weges, nämlich auf 6° zurück zu bringen, genöthigt ist, den Draht um 42° rückwärts zu drehen, so verhalten sich bei diesen beiden Abständen, deren Verhältniß

$2:1$ ist, die elektrischen Kräfte wie $12:(42+12)=12:48=1:4=1^2:2^2$ u. s. w. Daraus folgt: daß die abstoßenden Kräfte zweier gleichartig und gleich stark elektrisirten Kugeln sich verhalten wie umgekehrt die Quadrate der Entfernungen.

c) Verlust der Elektrizität eines isolirten Leiters. Jeder isolirte Leiter verliert allmählig seine E. Dieser Verlust ist abhängig

1) von der Dichtigkeit der elektrischen Schicht. Zwei isolirte gleichnamig elektrisirte Leiter stoßen einander mit einer gewissen Kraft ab; verdoppelt man die Ladung des einen, so wird auch die abstoßende Kraft 2 mal größer; verdoppelt man dann auch die Ladung des anderen, so wird die abstoßende Kraft 4 mal größer, und wird die Ladung eines jeden n mal größer, so wird die abstoßende Kraft n^2 mal größer.

Diese Betrachtung läßt sich auch anwenden auf je zwei Punkte eines isolirten Leiters, so daß das Verhältniß der Kraft, womit sich die E von einem isolirten Leiter zu entfernen strebt, gleich ist dem quadratischen Verhältnisse der Dichtigkeiten. Der elektrische Verlust eines isolirten Leiters überhaupt nimmt also schneller zu, als die Größe der Ladung. Der Verlust ist aber auch nicht an allen Stellen gleich groß; er hängt unter übrigens gleichen Umständen ab

2) von der Form des Leiters. Kanten und Spitzen müssen nach dem Obigen ganz besonders zu einem schnellen Verluste der E beitragen. Die sie umgebenden Lufttheilchen werden bald kräftig elektrisirt, dann abgestoßen und durch neue, zunächst noch unelektrische ersetzt u. s. w. Der Konduktor der Elektrisirmaschine, so wie jeder andere Körper, welcher die E nicht bald verlieren soll, darf daher keine Kanten und Spitzen haben. Ebenso kann man durch eine, einem elektrisirten Körper entgegen gehaltene Spitze eines nicht isolirten Leiters jenem die E allmählig und auf größere Entfernungen, als durch abgerundete Körper, entziehen, weil sich jetzt in jener der elektrische Gegensatz ebenso kräftig zeigt und neutralisirend einwirkt.

Da an den Spitzen die elektrische Kraft besonders stark hervortritt, so wird sie selbst in der umgebenden, nicht leitenden Luft eine Vertheilung hervorbringen, die ungleichnamige E anziehen und binden, die gleichnamige abstoßen. Die auf diese Weise gleichnamig elektrisirte und ruhende Luft will nach dem Beharrungsvermögen in Ruhe bleiben und dies um so mehr, je mehr sie an der rückwärts liegenden Luft einen Widerstand findet. Richtet man daher den elektrischen Leiter mit der Spitze recht beweglich ein, so bewegt er sich.

Das elektrische Flugrad; die elektrische Mühle; die elektrische schiefe Ebene; der elektrische Wind. Entladung einer Flasche durch eine nicht isolirte Metallspitze. Eine einzelne Spitze ist sowohl für die Annahme, als auch für die Mittheilung der E geeigneter, als mehre. — Blitzableiter.

Der Verlust eines elektrischen Leiters ist auch abhängig

3) von der Beschaffenheit der umgebenden Luft. Je ruhiger, trockener und dichter die Luft ist, desto mehr hält sie gleichsam die E zusammen. Läßt man einen Luftstrom über einen elektrischen Körper streichen, so verliert er die E ziemlich rasch, weil in der ruhigen Luft sich bald um den elektrischen Körper eine Atmosphäre gleichnamiger und zurücksto-

ßender E bildet, während in der bewegten sich der aufhebende Gegensatz fortwährend erneuern muß.

Bläst man mit dem Munde über den elektrischen Körper hin, so wirkt noch die Feuchtigkeit der Luft ableitend. Aber selbst in einer durch Chlorkalzium getrockneten Luft beträgt nach Versuchen mit der Drehwage der Verlust in einer Minute noch $\frac{1}{74}$ der mittleren elektrischen Kraft. Wird endlich die Luft um den elektrisirten Leiter verdünnt, so verbreitet sich die E mit zunehmender Verdünnung mehr und mehr, so daß luftleere Raüme (die torizellische Leere, gut geleerte Glasbehälter, hohe Schichten der Atmosphäre — Nordlicht) ganz von dem elektrischen Lichte erfüllt werden.

4) Endlich ist der Verlust noch abhängig von den anderen Isolatoren. Bloßes Glas ist oft feucht und isolirt daher schlecht; es muß mit einem die Feuchtigkeit abhaltenden Firniß überzogen und außerdem noch erwärmt werden, wenn es isoliren soll. Ein kurzer Isolator ist für eine starke elektrische Spannung auch unzureichend, weil die mit großer Kraft abgestoßene gleichnamige E im Isolator sich bis an sein Ende entfernt und mit dem Erdboden verbindet, wodurch die Isolirung theilweise aufgehoben wird. Für schwache Ladungen ist erfahrungsmäßig eine mit Lack überzogene Glasstange von 15 bis 20 Zoll Länge ausreichend. — Eine Hollundermarkkugel von 5 bis 6 Linien Durchmesser ist an einer 20 Linien langen und $\frac{1}{2}$ Linie dicken Schelllackstange vollkommen isolirt. In trockener Luft beträgt der Verlust in einer Minute $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$, in feuchter bis zu $\frac{1}{20}$ der mittleren Spannung.

IV. Störung des Gleichgewichtes der Elektrizität.

a) Nächste Erscheinungen. Die Elektrizität zeigt im Zustande der Ruhe oder des Gleichgewichtes keine Spur ihres Vorhandenseins, also auch kein Licht; ein isolirter Konduktor leuchtet nicht, wenn er auch noch so stark geladen ist. Erst die Störung des Gleichgewichtes, die Bewegung der Elektrizität bei der Neutralisirung ihres eigenen Gegensatzes ist von Lichterscheinungen begleitet. Befindet sich an einem positiv geladenen Konduktor eine Metallspitze, so zeigt sich an ihr im Finstern ein Lichtbusch von divergent ausgehenden Strahlen, besonders wenn man einen flachen Leiter entgegen hält; ist er negativ geladen, so ist an der Spitze nur ein Lichtpunkt. Hält man dagegen einem Konduktor mit + E eine Metallspitze entgegen, so hat diese den Lichtpunkt und bei einem Konduktor mit — E das Strahlenbüschchen. Bewegung ist zwar zu den Lichterscheinungen nothwendig, aber nicht immer ausreichend, sondern es gehört für einen gewissen, die Bewegung vermittelnden Leiter auch ein gewisser Grad elektrischer Spannung. In verdünnter atmosphärischer Luft erscheint das elektrische Licht zwar bei geringerer Ladung, es ist aber weniger intensiv, als in verdichteter; in Kohlensaüregas ist es grünlichblau und lebhaft, in Wasserstoff karmoisinroth und matt, in Stickgas mehr intensiv blau oder purpurroth, in Salzsaüregas fast weiß, in Alkohol- und Ätherdampf grünlich.

Hat ein Leiter, auf welchem sich die Elektrizität bewegt, Unterbrechungen durch nicht leitende Stellen, so erscheint an jeder ein Lichtfunke. — Metallperlen auf einer Seidenschnur, Blitzröhren (Aronsstäbe) aus verschieden gefärbtem Glase, Blitztafeln oder Scheiben und drgl.

b) Entladung der elektrischen Flasche. Außer der oben angeführten allmähligen Entladung einer Flasche oder auch Batterie, läßt

sich noch eine plötzliche fast vollständige dadurch bewirken, daß man beide Belegungen leitend verbindet, wozu der einfache Auslader, bestehend in einem starken Metalldrahte mit zwei Metallkugeln an seinen Enden und einem isolirenden Handgriffe, oder der allgemeine Auslader (von Henly) dient. Um die Überzeugung zu gewinnen, daß eine Flasche bei ihrer Entladung stets eine gleiche Ladung besaß, dient der Funkenmesser (von Lane), Funkenmikrometer. Es ist nämlich mit der äußeren Belegung einer Flasche leitend verbunden ein senkrechter Metallstab mn (Fig. 127.), dessen oberes Ende in der Höhe der Kugel der inneren Belegung einen horizontal verschiebbaren und genau getheilten Messingstab bc mit zwei Kugeln trägt; c ist mit dem Konduktor der Elektrisirmaschine durch einen Metalldraht verbunden. Wenn nun bei einer bestimmten Entfernung der beiden, von der inneren und äußeren Belegung ausgehenden Kugeln a und b ein Funke überspringt, so wird auch die Ladung eine bestimmte gewesen sein. Überhaupt aber steht die Schlagweite im graden Verhältnisse zur Stärke der Ladung, ist also der Dichtigkeit der angehaüften Elektrizität proportional, indem einer Batterie von 2, 3, 4..... n ganz gleichen Flaschen eine 2, 3, 4..... n mal so große Menge von E zugeführt werden muß, als einer solchen Flasche, wenn die Schlagweite dieselbe bleiben soll.

Mit einem Funkenmesser läßt sich auch die Menge der E bestimmen, womit eine Batterie geladen wird. Die Batterie ist dabei isolirt, ihre äußere Belegung mit der inneren des Funkenmessers leitend verbunden, dieser aber nicht isolirt. — Interessant ist noch die kaskadenförmige Ladung (Flaschensaüle) von mehren Flaschen oder Batterien. Man setzt nämlich eine gewisse Anzahl von Flaschen oder Batterien in eine Reihe, verbindet die innere Belegung der ersten mit dem Konduktor einer in Thätigkeit gesetzten Maschine, die äußere der ersten mit der inneren der zweiten, die äußere der zweiten mit der inneren der dritten u. s. f., bis man endlich die äußere der letzten mit der inneren eines Funkenmessers verbinden kann, um die Stärke der Ladung zu beurtheilen. Wird nun der mit der äußeren Belegung des Funkenmessers verbundene Knopf mit der inneren Belegung der ersten Flasche leitend verknüpft, so erfolgt die Entladung durch alle Verbindungsdrähte. Die Stärke der Ladung in jeder folgenden Flasche ist geringer, als in der vorhergehenden.

Eine Flasche oder Batterie kann durch den besten Leiter nicht auf einmal entladen werden, sondern es bleibt ein Überrest oder Rückstand, weil bei jeder Entladung einander genau gleiche Gegensätze aufheben (Abgleichung), hier aber die elektrische Intensität beider Belegungen nie vollkommen gleich ist (wegen der Entfernung durch die isolirende Zwischenschicht) und die besten Leiter als Belegungen nie absolute Leiter sind. Hätte die innere Belegung mehr + E, als die äußere — E, so bleibt, wenn man mit dem Auskader zuerst die äußere und dann die innere Belegung berührt, in jener ein Rest von + E, welcher eine neue Spannung mit noch übriger — E auf der äußeren Seite hervorbringt. Auf diese Weise kann eine zweite Entladung, darauf eine dritte und noch mehr genommen werden. — Die späteren werden natürlich immer schwächer.

Entladung durch Spitzen; durch abwechselnde Berührung der inneren und äußeren Belegung einer isolirten Fläche. Die elektrische Spinne; das Glockenspiel.

c) Dauer des elektrischen Funkens. Nun entsteht noch die

Frage: wie groß ist die Dauer des elektrischen Funkens? — Bewegt man einen Gegenstand, der ein andauerndes Licht besitzt, rasch genug, so nimmt das Auge einen Lichtstreifen in der Bewegungsbahn wahr, weil es den an einer bestimmten Stelle empfangenen Lichteindruck nicht sofort auch verliert, wenn auch der leuchtende Körper weg ist (eine im Kreise geschwungene glühende Kohle). Statt das Licht selbst zu bewegen, kann man auch das Lichtbild in einem Spiegel bewegen. Stellt man einen Spiegel senkrecht und vor ihn einen dauernd leuchtenden Körper, so wird das Bild im Spiegel so lange still stehen, als es bei dem Lichte und Spiegel der Fall ist. Wird aber der Spiegel um eine senkrechte Axe gedreht, so ist die Geschwindigkeit des Bildes die doppelte des Spiegels. (Ist nämlich in Fig. 128. ab der horizontale Durchschnitt des Spiegels, in e seine Drehungsaxe, m das Licht, mn senkrecht auf ab, so ist n das Bild. Wird der Spiegel in die Lage cd gedreht und ist mo senkrecht auf cd, so ist o das Bild von m. Der Weg no des Bildes ist gleich 2 . ca; denn no = co — cn = cm — cn = ca + am — cn = ca + an — cn = ca + ca + cn — cn = 2 . ca). Dreht man also den Spiegel um 180°, so hat das Bild schon 360° zurückgelegt. Wenn nun durch eine besondere Vorrichtung der Spiegel in einer Sekunde 50 mal um seine Axe gedreht wird oder derselbe sich durch 50 . 360° = 18000° bewegt, so hat das Bild in 1 Sekunde 2 . 18000° = 36000°, folglich in $\frac{1}{36000}$ Sekunde nur 1° zurückgelegt. Hätte nun ein durch den so gedrehten Spiegel angesehener elektrischer Funke auch nur die Dauer von $\frac{1}{72000}$ Sekunde, so müßte er im Spiegel die Ausdehnung von $\frac{1}{2}$° einnehmen, was durchaus nicht der Fall ist, man mag elektrische Funken, die mehre Zolle weit überspringen, oder die Funken einer Blitzröhre oder das elektrische Licht eines luftleeren Glasrohres u. s. w. betrachten; denn immer erscheinen die vom rotirenden Spiegel reflektirten Bilder genau auf dieselbe Weise, als wenn sie von dem ruhenden Spiegel zurückgeworfen werden. Daraus ziehen wir den Schluß, die Dauer des elektrischen Funkens beträgt noch nicht den 72000sten Theil einer Sekunde.

Hierher gehört die optische Taüschung, daß zwar die einzelnen Speichen eines schnell genug gedrehten Rades bei gewöhnlicher Beleuchtung nicht mehr sichtbar sind, daß sie aber deutlich können wahrgenommen werden und zu ruhen scheinen, wenn sie in einem dunklen Zimmer durch einen elektrischen Funken erleuchtet werden; man sieht das Rad in der That nur in einem gewissen Stadium der Bewegung, vorher und nachher aber nicht mehr.

d) Geschwindigkeit der Elektrizität in Leitern. Um die Geschwindigkeit der Elektrizität bei der Entlagung einer elektrischen Flasche zu untersuchen, nahm man zwei Drähte; jeden von $\frac{1}{4}$ engl. Meile; ein Beobachter hielt in jeder Hand eines der Enden von jedem Drahte und ein zweiter Beobachter entlud die Flasche, indem er von den übrigen Drahtenden das eine an die aüßere, das andere an die innere Belegung brachte. Im Momente der Berührung der Belegungen erfuhr auch der erste Beobachter die Entladung durch einen Schlag. Aber es ist nicht möglich, daß die E, um die Drähte zu durchlaufen, gar keiner Zeit bedürfe. Um nun die gewiß ausnehmend große Geschwindigkeit auf eine genauere Weise zu ermitteln, brachte man auf ein Brettchen in grader Richtung drei Paare gut isolirter kleiner Metallkugeln (Fig. 129.). Die Kugeln jedes

Paares sind 0,1 Zoll von einander entfernt. Die erste Kugel a ist mit der dritten c und eben so die vierte d mit der sechsten f durch einen ununterbrochenen Metalldraht von bedeutender Länge (z. B. $\frac{1}{4}$ Meile) verbunden. An den Kugeln b und e befinden sich andere Drähte, um durch sie eine elektrische Flasche zu entladen. Bei der Entladung entstehen drei Funken (zwischen b und a, c und d, f und e), welche punktartig in grader Richtung erscheinen, wenn man sie selbst ansieht. Blickt man aber ihr Bild in einem 800 mal in einer Sekunde um seine Axe gedrehten Spiegel an, so erscheinen sie in die Länge gezogen als parallele Linien und außerdem der mittelste mit seinem Anfangspunkte aus der graden Richtung der beiden anderen vor- oder rückwärts geschoben, je nachdem der Spiegel nach der einen oder anderen Seite gedreht wird. Daraus folgt:

1) daß die Entladung durch so lange Drähte nicht momentan geschieht;

2) daß die beiden äußeren Funken gleichzeitig erscheinen und somit die elektrischen Strömungen von beiden Belegungen der Flasche zugleich nach der Mitte der Drahtwindungen ausgehen, daß aber

3) der mittlere Funke wegen seiner Verrückung später erscheint.

Da der Spiegel, um diese Erscheinung hervorzubringen, in 1 Sekunde 800 Umdrehungen machen, also $800 \cdot 360^0 = 288000^0$ zurücklegen mußte, so hat er zu einem Grade den 288000sten Theil der Sekunde gebraucht. Die Verschiebung des mittelsten Bildes betrug aber nur $0{,}5^0$. Damit nun das Bild um $0{,}5^0$ verrückt wird, darf der Spiegel sich nur um $\frac{1}{4}^0$ drehen, was in dem $4 \cdot 288000 = 1152000$sten Theile einer Sekunde geschieht; d. h. es ist die Zeitdauer von der Erscheinung eines äußeren bis zu der des mittleren Funkens nur der 1152000ste Theil einer Sekunde, oder die Elektrizität bedarf dieser Zeit, um den Weg von $\frac{1}{4}$ engl. Meile zurück zu legen, wird also in einer Sekunde $\frac{1}{4} \cdot 1152000 = 288000$ engl. oder gegen 62000 geographische Meilen durchlaufen.

Sind der E mehre Wege bei ihrer Entladung dargeboten, so wählt sie den kürzesten und am besten leitenden.

e) Wirkungen eines Entladungsschlages. Es bleibt nun noch zu untersuchen, welches die Wirkungen des elektrischen Schlages bei der Entladung einer elektrischen Flasche oder Batterie sind. Sie sind mechanische, physiologische, thermische, chemische und magnetische.

1) Leitet man in eine mit Wasser gefüllte und verschlossene Glasröhre zwei Dräthe, die sich in Kugeln mit geringem Abstande endigen und läßt man dann einen Entladungsschlag durch die Drähte gehen, so wird die Röhre meistens zertrümmert. — Schließt sich an diese Röhre eine kommunizirende und oben offene und ist nur der unter den beiden Kugeln befindliche Theil mit Wasser gefüllt, so treibt die durch den Schlag heftig ausgedehnte Luft das Wasser in der zweiten Röhre in die Höhe.

Eine kleine Kugel, ein Pfropfen kann durch die plötzliche Ausdehnung der Luft aus einer Röhre getrieben werden: der elektrische Mörser. Sand und dergl. wird durch den Schlag zerstreut. — Das Geräusch bei der Entladung, der Knall, sind eine Folge der schnellen Ausdehnung der Luft.

2) Der elektrische Funke befolgt auf einem längeren Wege in der Luft keine grade Richtung, sondern geht im Zickzack, weil die Luft durch ihn ausgedehnt, also vor ihm zusammen gedrückt und so für eine Durch-

brechung weniger geeignet wird, weßhalb er auf einen Augenblick abspringt, um dann in einer benachbarten weniger dichten Stelle weiter zu dringen.

Bei einer Flaschensäule wächst die Schlagweite im quadratischen Verhältnisse der stufenweise verbundenen Elemente.

3) Feste Körper, namentlich schlechte Leiter werden durchbohrt, wie Holz, Glas (auch bei der Selbstentladung einer überladenen Flasche), Pappdeckel, wobei die Öffnung einen erhabenen Rand an beiden Außenflächen zeigt, weil die Ausgleichung des Gegensatzes von der Mitte aus nach beiden Seiten zu gleichmäßig erfolgt.

Holz- und Glastäfelchen, zwischen denen unterbrochene Zinnfolie liegt, werden, selbst wenn sie zusammen geleimt sind, auseinander geworfen. Eine Glaskugel, deren Wände 1 Zoll stark sind, wird zersprengt, wenn man den Schlag durch den in ihr eingeschlossenen Wassertropfen leitet.

Zu den mechanischen Wirkungen der E gehören auch die Bewegungserscheinungen des Kugeltanzes, des Staubregens, der Schaukel, des Glockenspieles, des Flugrades (dessen Wirkung nicht mit der des segnerschen Wasserrades zu verwechseln ist), des Windes, welcher bei Spitzen im Stande ist ein kleines Räderwerk in Bewegung zu setzen, oder eine Kerzenflamme auszulöschen, der sich aufblähenden Baumwolle u. a.

4) Läßt man kleinere Entladungsschläge einer geladenen Flasche theils von + E, theils von — E auf eine glatte Harzscheibe gehen, bestreut die Stellen im ersten Falle mit Schwefelstaub, (welcher schon beim Fallen durch die Luft) negativ elektrisch wird, und im letzten Falle mit fein zertheilter Mennig; so gruppirt sich der Staub bei der positiven E zu strahlenförmigen Sternen, bei der negativen zu Kreisen und Ringen ohne Strahlen. (Lichtenbergische Figuren).

5) Läßt man den Schlag einer Flasche von der einen Hand aus durch den Körper zur anderen (auch durch eine ganze Kette von Menschen) gehen, so empfindet man eine mehr oder minder heftige Erschütterung, namentlich in den Gelenken und der Brust, was die Nerven sehr angreift.

Steht die Menschenkette auf feuchtem Boden, so fühlen oft nur die äußersten die Erschütterung. — Entladung durch zwei Menschenreihen an den entgegen gesetzten Ufern eines Gewässers. — Befindet man sich auf einem Isolirstuhle und berührt mit der einen Hand den Konduktor einer in Thätigkeit gesetzten Maschine, so ist man gleichsam eine Fortsetzung desselben und es lassen sich aus allen Theilen des Körpers stechende Funken ziehen; man hat, wenn ein Anderer, welcher nicht isolirt ist, die flache Hand vor das Gesicht des ersteren hält, ein eigenthümliches Gefühl; die Haare sträuben sich. — Das elektrische Bad; es befördert die Transspiration. Verschiedene Menschen sind in verschiedenem Grade empfindlich.

6) Die Erschütterung des thierischen Organismus durch den Entladungsschlag kann bis zur Tödtung kleinerer und selbst größerer Thiere gesteigert werden. — In einer kaskadenförmig gebildeten Flaschensäule steigert sie sich mit der Anzahl der verbundenen Elemente.

7) Leitet man den Schlag über Kreide, Bimstein, Pfeifenthon, Zucker, verschiedene Früchte u. a. Nichtleiter, so zeigen sie eine kurze Zeit Phosphoreszenz.

Funken sind überall, wo in einem Leiter, durch welchen die Entladung stattfindet, kurze Unterbrechungen vorhanden sind. — Blitztafeln, Blitzröhren, z. B. gläserne von verschiedener Farbe.

8) Leicht entzündbare Stoffe lassen sich schon durch kleinere Schläge und Funken anzünden.

Z. B. eine soeben ausgeblasene Wachskerze, Äther auf Wasser, Alkohol, Wasserstoffgas (elektrische Zündmaschine mit Elektrophor), Knallgas (elektrische Pistole), Kolophoniumpulver auf Baumwolle, Knallsilber, Schießpulver, wobei man in den Leitungsdrath einen schlechteren Leiter, nämlich ein Stück feuchten Bindfadens einschaltet. — Schneidende Funken. Allmählige Entladung einer nicht isolirten Fläche durch Berührung der inneren Belegung.

9) Leitet man den Schlag einer Batterie durch einen dünnen Metalldraht (Klaviersaite Nr. 12.), so wird er je nach der Stärke des Schlages in verschiedenem Grade erwärmt, roth glühend, ja sogar zersplittert und in Kügelchen geschmolzen. Die Erwärmung dünner Platindrähte steht mit dem Quadrate der angewendeten Elektrizitätsmenge in gradem Verhältnisse und im umgekehrten der Oberfläche, auf welche diese Elektrizitätsmenge vertheilt ist.

Nicht alle Metalle zeigen ein gleiches Verhalten: die schlechteren Leiter, wie Eisen und Platin werden bei gleichen Dimensionen stärker erwärmt, als Gold und Kupfer; ein schmaler Streifen Zinnfolie von 3 bis 4 Zoll Länge wird verflüchtigt, ebenso das Gold, womit Seidenfäden übersponnen sind. Ein Streifen Blattgold zwischen zwei Glasscheiben wird in das Glas geschmolzen. Silberdraht verbrennt mit grüner Farbe. — Mittel die Leitungsfähigkeit der Metalle aus der gleichen Erwärmung bei ungleicher Länge zu bestimmen. Ein Platindraht verzögert die Entladung eben so sehr, als ein 6,44 mal längerer Kupferdraht. Bei einer stufenweisen Verbindung gleicher Flaschen zu einer Flaschensaüle steigert sich die Wärme in allen Verbindungsdrähten im Verhältnisse der Anzahl der verbundenen Elemente; wird der Leitungswiderstand in irgend einem Verbindungsdrahte vermehrt, so ist dies auch bei den anderen Drähten der Fall.

10) Wird die Entladung, besonders durch Spitzen, auf ein feuchtes und mit einer geistigen Jodlösung braun gefärbtes Papier geleitet, so wird es entfärbt. Es ist ferner bei kräftiger Entwickelung von E und namentlich bei der Entladung durch Spitzen der eigenthümliche Geruch des Ozons wahrnehmbar. Wasserzersetzung: wo $+$E ins Wasser tritt, entsteht Sauerstoff, wo $-$E Wasserstoff. — Oxydirung von Metalldrähten und dünnen Blättchen. Lakmus wird durch $+$E geröthet, dann durch $-$E wieder blau.

11) Bemerkenswerth sind noch die elektrischen Abbildungen. Wird nämlich der in Spitzen auslaufende Schließungsdraht einer Batterie über die Oberfläche einer gut gereinigten Glas- oder Glimmerplatte geleitet, so nimmt beim Behauchen der Weg keine Feuchtigkeit an. Legt man eine Münze auf Spiegelglas und dieses auf Metall, läßt dann aus dem Konduktor einer Elektrisirmaschine schnell Funken darauf schlagen und behaucht nach Wegnahme der Münze die Tafel, so zeigt sich ein dauerndes Bild des Gepräges. Will man die Bilder auf Metallplatten erlangen, so muß man eine Glimmerplatte einschalten. Durch Beschlagen mit Joddämpfen und Schwärzung derselben im Sonnenlichte tritt das Bild deutlicher hervor.

12) Eine Stahlnadel wird magnetisch, wenn man durch einen einfachen oder besser noch durch einen wiederholt um sie gewundenen, aber dieselbe nicht berührenden Draht einen kräftigen Schlag leitet. Die Richtung der Windungen und die Art der Verbindung der Drahtenden mit $+$E und $-$E wirkt bestimmend auf die Art der Polarität. — Kleine

Stahlnadeln werden auch magnetisch, wenn man sie senkrecht in der Nähe eines Leitungsdrahtes anbringt. Die Pole einer kleinen Magnetnadel können umgekehrt werden. — Steigerung der Wirkung durch eine Flaschen-Saüle.

V. Atmosphärische Elektrizität.

Bringt man ein Elektroskop bei heiterem Himmel auf einen erhöhten Standpunkt (Dach, Thurm, Bergspitze), berührt es ableitend, geht dann damit herab in einen geschlossenen Raum, so zeigt das Instrument — E an. Der Erdkörper besitzt also — E, ihre Spannung ist an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten verschieden (ein Minimum wohl gegen 1 Uhr, ein Maximum gegen Sonnenaufgang), wächst an allen Erhöhungen, und sind Wasserdünste mit der Erdoberfläche in Berührung (wie bei Nebel und nach anhaltendem Regen), so leiten sie die E von der Erde ab bis zur Oberfläche der Dünste, wo sie durch die isolirende trockene Luft aufgehalten wird. Hält man aber im Freien an einer möglichst langen Holzstange eine isolirte Metallspitze, von welcher aus ein Draht abwärts geht, (oder eine isolirte Metallstange) in die Höhe, so zeigt ein mit dem Drahte verbundenes Elektroskop sehr oft Elektrizität an. Die ganz reine atmosphärische Luft zeigt meist gar keine E, aber die Wolken in der Regel eine mäßige Menge negativer, selten positiver E.

Nähert sich eine elektrische Wolke mit — E der Erdoberfläche, so kann sie das — E der letzteren durch Abstoßung vermindern, aufheben oder selbst + E hervorrufen.

Je höher die Stange ist, desto deutlicher tritt die Erscheinung hervor. Läßt man einen Papierdrachen, der eine nach oben gerichtete Metallspitze trägt, recht hoch fliegen und geht von dem Metalle aus eine hanfene oder metallene Schnur herab, so zeigt das untere Ende derselben, an welches man einen Metallkörper binden kann, nicht selten und namentlich während eines Gewitters die lebhaftesten elektrischen Erscheinungen: Feuerstrahlen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke bei einem Drachen, der 550 Fuß hoch stieg.

Es ist demnach eine Thatsache: die Atmosphäre enthält Elektrizität. Wie aber erhält sie dieselbe? Die Quellen derselben sind wohl höchst mannigfaltig, aber die vorzüglichsten sind: die Reibung der Luftschichten bei aufsteigenden und horizontalen Strömungen (z. B. die Kalmen, indem sich der Nordost- und Südwestpassat treffen), die Verdunstung, der Lebensprozeß der organischen Körper und die chemischen Einflüsse der unorganischen, also wohl der ganze Lebensprozeß des Erdkörpers.

Verdünstet Wasser in einer Glasschale, so wird diese negativ, die Dämpfe also positiv; beim Ausbruche des Vesuvs im Februar 1822 durchzuckten Blitze die 9000 Fuß hoch aufsteigende Saüle von Dämpfen und Asche. Läßt man Pflanzen in gläsernen Gefäßen wachsen, so werden letztere auch negativ-elektrisch. In der That zeigt auch die Atmosphäre oft positive Elektrizität und zwar im Allgemeinen am Tage und im Sommer stärker, als bei Nacht und im Winter; in den Tropengegenden, namentlich in der Regenzeit weit mehr, als in größeren Breiten. Der niederfallende Regen ist wegen der dabei stattfindenden Verdünstung meist negativ. Es sind bis jetzt zu wenig regelmäßige und korrespondirende Beobachtungen angestellt, um in dem Wechsel der elektrischen Zustände der Erdoberfläche und der Atmosphäre das Gesetzmäßige zu erkennen.

Wenn die in der Luft aufsteigenden Dünste (wie es an thätigen Vulkanen, in den Tropengegenden, in einigen Schweizerthälern und bei uns überhaupt im Sommer geschieht) in höheren Schichten der Atmosphäre sich

zu sichtbaren Wolken verdichten, so kann es der Fall sein, daß ganze große Wolkenmassen eine bedeutende elektrische Ladung enthalten. Ist die darunter liegende Luft verhältnißmäßig feucht, wie im Winter und Herbste, wo überdieß die Wolken der Erde näher sind, als im Sommer, so findet nach der Erde zu eine allmählige Entladung statt; ist sie aber relativ trockener, wie im Sommer, so ist die elektrische Wolke in der Lage, wie ein gut isolirter Konduktor. Durch eine elektrische Wolkenschicht kann mittelst Vertheilung nicht nur die darunter liegende Erdoberfläche, sondern auch eine andere Wolke entgegen gesetzt elektrisch werden. Erreicht die elektrische Spannung einen hinreichend hohen Grad, so erfolgt bei gehöriger Nähe einer anderen Wolke oder der Erde eine Entladung nach jener oder dieser, begleitet von Blitz und Donner, Regen- oder Schlossenschauer, d. i. wir haben ein Gewitter. Durch den Blitz, welcher, wie jeder elektrische Funke, im Zickzack hinfährt, wird augenblicklich eine bedeutende Ausdehnung der Luft verursacht, dadurch wieder eine stärkere Ausbreitung der in den Wolken enthaltenen Wasserdünste, wodurch Wärme gebunden, also Kälte erzeugt wird und dadurch endlich ein sofortiges Verdichten der Wasserdünste, so daß sie in der Regel bald nach dem Blitze als Regenguß oder auch als Hagel vom Himmel herabstürzen. Der elektrische Schlag schickt uns ein durch die Wolkengruppen und Unebenheiten der Erdoberfläche — Gebirge — gebildetes vielfaches Echo als Donner herab.

Aus den Wirkungen des Blitzes folgt, daß seine Natur ganz die jedes elektrischen Schlages ist. Er sucht beim Übergange auf die Erdoberfläche sich die besten Leiter und den kürzesten Weg aus (daher der Nutzen der Blitzableiter), zertrümmert schlechte Leiter, (er spaltet Baüme), geht auf guten, wenn sie hinreichende Oberfläche haben, spurlos fort; haben sie eine geringe Masse, so schmelzt er sie, besonders wenn er Sprünge zu machen genöthigt ist; brennbare Körper zündet er an; er tödtet Thiere und Menschen nicht selten; er macht Eisenstangen magnetisch; verbreitet den eigenthümlichen Geruch des Ozons und verschwindet in den feuchten Stellen der Erdoberfläche. Besteht letztere aus schlechten Leitern, so fährt er auch tiefer in die Oberfläche und bildet an sandigen Orten durch das Zusammenschmelzen der Sandkörner die bis zu 30 Fuß langen Blitzröhren.

Entladet sich eine Gewitterwolke auf eine andere oder nach einem ziemlich entfernten Orte, so empfindet man an der Erdoberfläche nicht selten einen sehr heftigen Rückschlag, welcher elektrische Telegraphen in Bewegung zu setzen und sogar zu tödten im Stande ist. Ein hoher Grad von Luftelektrizität kann die Wirksamkeit der elektrischen Telegraphen zum Theil oder (temporär) ganz zerstören. — Das Wetterleuchten; Elmsfeuer, Kastor und Pollux; elektrisches Licht an den Ohren von Pferden u. a. — Vorsichtsmaßregeln bei einem herannahenden Gewitter. Anlage und Beschaffenheit eines zweckmäßigen Blitzableiters; Einsaugung der E durch ihn; Schlag durch ihn. Größere Metallmassen eines Gebaüdes sind ebenfalls an ihn abzuleiten, weil sonst wegen des Rückschlages oder sekundären Stromes durch sie Gefahr entstände. — Vor einem Gewitter sind in der Regel entgegen gesetzte Luftströmungen sichtbar, so daß man mit ziemlicher Sicherheit mehre Stunden ein Gewitter vorhersagen kann. Die Wettersaülen (Wasserhosen, Sandhosen) sind von elektrischen Erscheinungen begleitet. — An der Erscheinung der Nordlichter scheint die E. auch den wesentlichsten Antheil zu haben.

B. Elektrizität durch Berührung u. s. w.: mechanische Elektrizität.

I. Einfache Erscheinungen.

1) **Elektromotoren.** Ist mit einem sehr empfindlichen Elektroskope eine sorgfältig eben geschliffene Kupferplatte in Verbindung, ohne daß sie

mit einem Lack bestrichen ist, setzt man auf diese eine eben solche Zinkplatte und hebt dann die letztere, sie mag isolirt sein oder nicht, von der ersteren in einer möglichst genau parallelen Lage ab, so zeigt das Elektroskop —E an. Ist aber die Zinkplatte mit dem Elektroskope in Verbindung, so zeigt dieses nach dem Aufheben der Kupferplatte +E. Während der Berührung bemerkt man keine E und eben so wenn die Platten aus demselben Metalle ganz gleich angefertigt sind und dabei nach Form, Härte, Politur, Temperatur gar keine Verschiedenheiten darbieten. Dieses ist ein deutlicher Beweis davon, daß zwei verschiedenartige Metalle einander entgegen gesetzt elektrisch erregen oder daß sie Elektromotoren sind, daß die Elektrizitäten während der Berührung der Platten einander binden, daß die der isolirten mit dem Elektroskope verbundenen Platte frei wird, wenn man die andere aufhebt, und endlich, daß diese Erscheinung an gleichartigen und gleich beschaffenen Metallen sich nicht zeigt. Dabei ist die Quantität der gebundenen E von der Größe der Berührungsfläche und ihrer rein metallischen Beschaffenheit abhängig. Denn wenn man die Kupferplatte nur an wenigen Punkten mit dem Zinke berührt, so wird die geringe Menge der —E noch keinen Ausschlag des Elektroskopes zeigen.

Nimmt man aber einen Kondensator aus zwei Messing- oder zwei Kupferplatten, von denen nur die einander berührenden Flächen gefirnißt sind, und berührt die untere mit dem Elektrometer verbundene, auch nur an einer kleinen Stelle mit einem in der einen Hand gehaltenen blanken Zinkstäbchen, während auf der oberen ein Finger der anderen Hand ruht (Fig. 130.), so wird in diesem Augenblicke die Basis negativ geladen, was sich zeigt, wenn man zuerst den Finger von der oberen Platte, dann das Zink von der unteren und endlich die obere Platte selbst abnimmt. Denn Zink wird nach dem Obigen in Berührung mit Messing oder Kupfer positiv, letzteres negativ elektrisch; +E wird abgeleitet, —E der Basis wirkt nun vertheilend auf den Deckel, zieht sein +E an und stößt —E ab; letzteres wird abgeleitet, ersteres bindet aber so lange das —E der Basis als der Deckel auf der Basis liegt, und dadurch wird die Basis befähigt, durch die elektromotorische Kraft des Zinkes neues —E aufzunehmen, welches wieder durch +E des Deckels gebunden wird u. s. f. bis zu einer gewissen Gränze. Wird endlich der Deckel aufgehoben, so wird —E der Basis frei. Eine auch nur augenblickliche Berührung der Basis mit dem Zinke reicht hin, den Kondensator vollständig zu laden.

Hätte man mit isolirtem Zink die Basis berührt, so würde nach dem Obigen der Erfolg geringer sein. — Hätte man die Metallfläche des Deckels mit dem Zink und die Basis ableitend mit dem Finger berührt, so würde letztere +E zeigen.

Daß hierbei die E nicht etwa durch einen beim Berühren stattfindenden Druck oder durch Reiben erzeugt wird, ist daraus zu entnehmen, daß, wenn man die Metallfläche der Basis mit dem Kupfer einer zusammen gelötheten Doppelplatte aus Kupfer und Zink (Fig. 131.) berührt, während man das Zink in der Hand hält und die obere Platte auch ableitend berührt, die Erscheinung dieselbe bleibt. Berührt man die Basis aus Kupfer nur mit Kupfer, so zeigt sich keine Spur von E.

Daraus folgt unzweideutig, daß die Berührungsstelle der bei-

den verschiedenartigen Metalle der Sitz und die ursprüngliche Quelle der E ist.

Es ist nur noch zu untersuchen, ob die Spannung eine bestimmte Gränze hat und welches die elektrische Differenz der beiden Platten ist. Ist zunächst die Doppelplatte isolirt, so wird an der Berührungsstelle gleich viel positive und negative E frei, + E geht auf das Zink, — E auf das Kupfer; die Spannung derselben kann aber nur gering sein, weil dieselbe elektromotorische Kraft an der Gränze beider Metalle, welche die Trennung der Elektrizitäten bewirkt, auch ihrer Vereinigung entgegen wirkt, wie ein Isolator, der aber als solcher nur eine bestimmte Ladung zuläßt. Die elektromotorische Kraft hält nur so lange die entgegen gesetzten Elektrizitäten beider Metalle getrennt, bis ihre Spannung eine gewisse Gränze erreicht hat; jede Vermehrung der Ladung würde mit einer sofortigen Entladung verbunden sein. Auch hier ist, wie bei einer elektrischen Flasche, die größte Menge der entgegen gesetzten und einander bindenden Elektrizitäten an der Trennungsstelle; nur ein geringer Theil ist frei. Sollte die — E vollständig gebunden werden, so müßte von + E ein Überfluß vorhanden sein, wie bei der elektrischen Flasche, woraus folgt, daß von — E ein Theil frei ist, dasselbe gilt von + E.

Bezeichnen + e und — e die Mengen der auf dem Zink und Kupfer vorhandenen freien positiven und negativen Elektrizitäten, wenn die Platten isolirt sind, so ist $\pm 2e$ die elektrische Differenz der beiden Platten. Berührt man die Zinkplatte ableitend, so ist ihre freie Elektrizität 0, aber grade dadurch, daß sie + E verloren hat, wird in der Kupferplatte noch ein — e frei, so daß in ihm die Spannung — 2e ist, was sich durch einen vergrößerten Ausschlag zeigt; berührt man die Kupferplatte ableitend, so ist die freie E auf den Zink + 2e. Diese Differenz bleibt selbst dann, wenn man aus einer besonderen Quelle die E auf das Plattenpaar leitet, indem sich dieselbe ganz gleichmäßig über das System der Platten vertheilt.

2) Elektrische Spannungsreihe.

a) Für die Metalle. Um das elektromotorische Verhalten der verschiedenen Metalle genau zu untersuchen, kann man eine kupferne Kondensatorplatte auf das Goldblattelektrometer schrauben, darauf eine Zinkplatte legen, aber diese Platten nur an der Berührungsfläche mit Firniß versehen und nun mit blanken Metalldrähten aus verschiedenen Metallen die metallischen Flächen der beiden Platten berühren.

Obwohl die Metalle gute Elektromotoren sind, so sind sie es doch nicht alle in gleichem Grade; z. B. Zink wird in Berührung mit Platin stärker positiv als in Berührung mit Kupfer; ein bestimmtes Metall kann mit dem einen positiv, mit einem anderen negativ elektrisch werden. In der folgenden Reihenfolge von Körpern wird jeder vorangehende mit einem folgenden um so mehr positiv, je weiter er von diesem absteht: + Zink, Blei, Zinn, Eisen, Stahl, Messing, Kupfer, Kobalt, Wismuth, Spießglanz, Arsenik, Silber, Gold, Platin, Kohle.

Ist z. B. der Verbindungsdraht aus Kupfer, so erregt er auf dem Zink freies + E, welches an der Harzschicht kondensirt wird, das freie — E geht auf dem Drahte nach dem Kupfer. Da der Kondensator auf diese Weise geladen ist, so wird sich nach Wegnahme des Drahtes und

der Zinkplatte ein gewisser Grad von freier — E in den Blättchen zeigen, welche die elektrische Spannung zwischen Zink und Kupfer angiebt.

Ist der Verbindungsdraht aus Zinn, so erregt er das Zink positiv und — E geht von ihm auf das Kupfer über, welches er auch für sich schon negativ erregt. Nun ist aber nach Entfernung des Drahtes und der Zinkplatte der jetzige Ausschlag der Goldblättchen grade so groß, als im vorigen Falle; mithin die elektrische Spannung zwischen Zink und Kupfer gleich der Summe der elektrischen Spannungen zwischen Zink-Zinn und Zinn-Kupfer.

Ist der Verbindungsdraht aus Gold und wäre blos an Zink und Gold die elektromotorische Kraft thätig, so würde das Kupfer negativ geladen. Da aber die Kraft auch an der anderen Berührungsstelle thätig ist und dadurch das Kupfer positiv elektrisch wird, so muß die wieder unverändert erscheinende Spannung Zink-Kupfer eine Differenz der Spannungen Zink-Platin und Kupfer-Platin sein; also die zwischen Zink-Platin eine Summe aus den beiden anderen. Daraus folgt:

α) daß die elektrische Spannung zwischen zwei beliebigen Gliedern der obigen Spannungsreihe eine Summe ist aus den Spannungen der Zwischenglieder;

β) daß, wenn man auch drei oder mehre Metallplatten auf einander schichtet, die elektrische Spannung der Endplatten nur grade eben so groß ist, als sie ohne Zwischenplatten sein würde; sind die Endplatten aus demselben Metalle, so ist sie Null.

b) Für die flüssigen Körper. In die obige elektrische Spannungsreihe lassen sich zwar noch die übrigen Metalle und selbst zusammen gesetzte feste Körper (wie Schwefeleisen, Braunstein) einschalten, aber die flüssigen nicht. Denn bringt man als Basis eines Kondensators eine oben gefirnißte Zinkplatte an, setzt auf diese eine sehr dünne, unten auch mit Firniß überstrichene Glastafel und bringt auf letztere eine Wasserschicht, so wird der Kondensator bei Anwendung eines Zinkdrahtes negativ geladen. Wasser müßte daher in der Spannungsreihe vor Zink stehen. Nimmt man aber sodann eine Basis aus Platin und einen Platindraht zur Schließung, so ist zwar das Platin auch negativ, aber schwächer als Zink, was gegen das Gesetz der Spannungsreihe ist. In ähnlicher Weise verhalten sich auch andere Flüssigkeiten.

Taucht man eine Metallplatte in Wasser, welchem man etwas Saüre zusetzen kann, so wird das hervorragende Ende negativ elektrisch, also die Flüssigkeit positiv; d. h. es geht vom Metalle auf die Flüssigkeit + E, von dieser auf jedes — E, und dabei werden diejenigen Metalle, welche in der Spannungsreihe zu den mehr positiven gehören, stärker negativ, als andere. Es äußert sich demnach bei der Berührung eines Metalles mit einer Flüssigkeit ebenfalls eine elektromotorische Kraft; sie ist aber geringer und deßhalb nennt man die Flüssigkeiten wohl auch Elektromotoren zweiter Klasse.

3) Der elektrische Strom und die elektrische Kette. Wenn sich in der Berührung eines Metalles mit einer Flüssigkeit eine elektrische Erregung zeigt, so wird auch von letzterer ein Bestandtheil angezogen, ein

anderer abgestoßen werden, oder es tritt eine Zersetzung ein. Das Bestreben eines einzelnen Metalles eine flüssige Verbindung zu zersetzen ruft in dieser selbst auch einen elektrischen Strom von bestimmter Richtung hervor, welcher so lange dauert, als die Zersetzung stattfindet; aber auch in der Zersetzung selbst liegt eine Quelle von Elektrizität und bei ihrem Fortschreiten leitet sie den elektrischen Strom nach einer bestimmten Richtung.

Die an der Berührungsstelle eines Metalles mit einer Flüssigkeit erzeugte elektrische Differenz kann noch gesteigert werden durch die Berührung dieses Metalles mit einem anderen (Fig. 132.), wenn durch letzteres ein Strom von derselben Richtung erzeugt wird. Dadurch muß aber auch die Zersetzung befördert werden, und in der That zeigt sich dieses in der Erfahrung. Taucht man ein Zink- oder Kupferstäbchen jedes für sich in verdünnte Schwefelsaüre, so wird jedes negativ elektrisch, aber das Zink stärker, als Kupfer, also wird die Flüssigkeit durch jenes stärker positiv erregt als durch dieses; bringt man nun beide Stäbchen zugleich in geringer Entfernung neben einander (Fig. 133.) in die Flüssigkeit, so wird das von Zink in ihr stärker erregte + E sich mit dem schwächeren — E des Kupfers verbinden und das + E auf das Kupfer übergehen. Kupfer zeigt demnach + E, Zink — E.

Wird nun außerhalb der Flüssigkeit noch irgend eine metallische Verbindung zwischen Kupfer und Zink hergestellt, so dient das Kupfer und diese andere metallische Leitung dazu, um durch sie einen Kreislauf der elektrischen Thätigkeit, einen elektrischen Strom und zwar von + E nach dem Zink zu erzeugen (also in der Richtung: Kupfer, Zink, Feuchtigkeit), so daß dadurch Zink positiv und Kupfer negativ elektrisch wird. Zwei metallische Elektromotoren mit einer dazwischen angebrachten Feuchtigkeit geben eine offene voltaische Kette; verbindet man die beiden Metalle durch einen leitenden Metalldraht, so nennt man die Kette geschlossen.

Außer dem Hauptstrome sind nach dem Obigen in einer solchen geschlossenen Kette noch zwei schwächere positive Ströme von jedem Metalle nach der Flüssigkeit, von denen der vom Zinke ausgehende den ersten unterstützt, der letzte und schwächste vom Kupfer aus ihnen entgegen gesetzt ist. Wir wollen in Zukunft unter dem elektrischen Strome kurz die Richtung der Bewegung von + E verstehen.

Im Schließungsdrahte einer Kette aus amalgamirtem Zink, Flüssigkeit und Kupfer ist also ein fortwährender Strom des + E vom Kupfer nach dem Zink und von — E in entgegen gesetzter Richtung. Bei der Entladung einer elektrischen Flasche durch einen Draht war der Strom in diesem nur ein augenblicklicher, während der Ladung befand sich die Elektrizität in Ruhe oder im Gleichgewichte und deßhalb nennt man sie auch die statische Elektrizität zum Unterschiede von dieser stets in Bewegung befindlichen, der mechanischen. Die beiden entgegen gesetzten Ströme müssen in der Flüssigkeit, wo sie einander begegnen, eine Zersetzung hervorbringen.

4) Verschiedene Ketten und Saülen. Um aber kräftige Erfolge zu erzielen muß man entweder

a) ein Metallplattenpaar von großer Ausdehnung nehmen, oder
b) eine Reihe von Ketten zu einem Systeme, der voltaischen Saüle, verbinden.

a) Verschiedene Ketten:

1) Man umgebe eine ebene Zinkplatte von größerer Ausdehnung mit einem schmalen Kupfergefäße, ohne daß die beiden Metalle einander berühren und gieße die Flüssigkeit (verdünnte Schwefelsaüre) in das Gefäß.

2) Ein zylindrisches Kupfergefäß enthalte einen etwas kleineren Kupferzylinder von derselben Höhe; in den Zwischenraum schiebe man isolirt einen Zinkzylinder ein und gieße die Saüre dazu.

3) Um die Oberflächen der beiden Metalle noch mehr zu vergrößern, etwa bis auf 50 oder 60 Quadratfuß, wickle man um einen Holzzylinder von drei Zoll Durchmesser und 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fuß Höhe eine Zink- und eine Kupferplatte, ohne daß die eine die andere berührt, und bringe die Vorrichtung, Hares Kalorimotor, in ein Gefäß mit Flüssigkeit.

Um eine recht innige leitende Verbindung der beiden Elektromotoren herzustellen, tragen dieselben an Kupferdrähten kleine Näpfchen, in welche Quecksilber gethan wird, um in dieses die Enden des Verbindungsdrahtes zu stecken.

b) Voltaische Saülen.

Man nehme Plattenpaare aus zwei in der Spannungsreihe ziemlich weit von einander entfernten Metallen, wie Zink (Z) und Kupfer (K) und eben so große Scheiben aus Papier oder Tuch, welche man mit bloßem Wasser, mit stark verdünnter Saüre oder mit einer Kochsalzlösung etwas angefeuchtet hat. Nun lege man auf eine Zinkplatte, die mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht, eine Kupferplatte. Durch die elektrische Erregung wird Kupfer negativ, Zink positiv. Die E des Zinkes wird abgeleitet, — E auf Kupfer wird frei. Wenn man auch letzteres ganz oder theilweise abgeleitet hätte, so würde es dennoch durch die elektromotorische Kraft zwischen beiden Metallen sofort wieder hergestellt, so daß das Kupfer stets eine bestimmte elektrische Spannung behält, welche wir mit — 1 bezeichnen wollen, wobei das + 1 des Zinkes abgeleitet wird.

Legt man nun auf das Kupfer eine feuchte Scheibe, so wird, wenn auch diese gar keine elektromotorische Kraft aüßerte, die freie — E des Kupfers auf die Feuchtigkeit zwar übergehen, aber der Verlust im Kupfer wird sofort durch das Zink wieder ersetzt, so daß die frühere unveränderte Spannung bleibt. Ein eben solcher Übergang des — E muß auch eintreten, wenn auf die feuchte Scheibe noch eine Zinkplatte gelegt wird. Nun haben Kupfer, Feuchtigkeit und das darauf gelegte Zink jedes — 1E.

Wird nun auf dieses System eine Kupferplatte gelegt, so erhält sie für sich schon durch die darunter befindliche Zinkplatte — 1E; dieses wird aber durch das —1 E des vorigen Systems noch vermehrt und die zweite Kupferplatte hat demnach — 2E.

Fährt man fort in derselben Ordnung (Zink, Kupfer, Feuchtigkeit; Z, K, F) zu schichten und hört mit Kupfer auf, so hat dieses bei n Plattenpaaren — nE, während das nicht isolirte Zink 0 E besitzt.

Hätte man das Kupferende, den Kupferpol, leitend mit der Erde verbunden, so würde von ihm aus + E in steigender Progression nach dem anderen Ende, dem Zinkpole, zunehmen. Die elektromotorische Wirkung der feuchten Scheiben verstärkt noch den Erfolg, welcher durch ein Elektrometer (auch ohne Kondensator) leicht untersucht werden kann.

Baut man eine zweite Saüle von eben so vielen und gleich großen,

gleich beschaffenen Plattenpaaren, indem man mit dem Kupfer beginnt (also K, Z, F, K, Z, F, K, Z u. s. w.) und dieses ableitend berührt; so wächst das +E vom ersten Zink an in steigender Progression und besitzt im nten Plattenpaare die Spannung +nE. Setzt man nun diese zwei Saülen so zu einer einzigen zusammen, daß die vorhin ableitend berührten Pole (in der ersten der Zinkpol, in der zweiten der Kupferpol) nur durch einen feuchten Leiter getrennt werden; so hat man eine einzige isolirte Saüle, in welcher die Mitte indifferent, die eine Hälfte positiv, die andere negativ in steigender Progression nach den Enden geladen ist; das Zinkende ist der positive, das Kupferende der negative Pol. Verbindet man die beiden Endplatten der isolirten Saüle durch einen Metalldraht, so wird die Saüle geschlossen und es geht im Schließungsdrahte der positive Strom vom Zinke zum Kupfer; also nicht wie bei der geschlossenen einfachen Kette vom Kupfer zum Zinke (Fig. 134.).

Wie geht der Strom, wenn man von der Saüle an jedem ihrer Enden die letzte Platte, an dem einen Zink, an dem anderen Kupfer wegläßt; also die Saüle nicht mit einem Plattenpaare, sondern mit einer einzelnen Platte schließt? — Der etwaige Verlust in der einen Hälfte wird durch die elektromotorische Kraft der Metalle und die Leiter bald wieder ersetzt, oder die Saüle ladet sich selbst, so daß die Spannung an beiden Polen der isolirten Saüle gleich wird. Verluste durch die Luft werden auch wieder ersetzt; aber die größeren in feuchter nicht eben so schnell, als die geringeren in trockener und deßhalb ist die elektrische Spannung in feuchter Luft geringer, als in trockener. Berührte man nach dieser Zusammensetzung den einen Pol ableitend, so würde der andere eine doppelt so große Spannung zeigen. — Verschiedene Arten des Aufbaues. Die horizontale Lage ist vorzuziehen; weßhalb?

Die Schnelligkeit, womit sich eine solche Saüle ladet, hängt von der Leitungsfähigkeit des Zwischenkörpers ab. Verdünnte Schwefel- oder Salzsaüre leiten gut, weniger gut in absteigender Folge: Salzwasser, reines Wasser, Papier, welches nur die Feuchtigkeit der Luft annimmt. — Aus unächtem Gold- (Kupfer) und Silber- (Zinn) Papier zusammen gesetzte Saülen nennt man trockene oder zambonische. Man nimmt dazu auch Papier, welches auf der einen Seite mit fein pulverisirtem Braunstein (Manganhyperoxyd) bestrichen, auf der anderen mit unächtem Silberschaum mittelst Gummi belegt ist. Die daraus gefertigten Scheibchen, deren man bis zu 2000 schichtet, müssen aber zur besseren Berührung an einander gepreßt und die Saüle selbst zur Isolirung mit Schwefel oder Schelllack überzogen oder auch in ganz abgesperrte Glaszylinder eingeschlossen werden.

Anwendung einer oder zweier trockenen Saülen zu Elektroskopen (Bohnenberger, Bequerel). — Ein sogenanntes perpetuum mobile; seine ungleichmäßigen Bewegungen; sein Stillstehen. Verschiedenartige trockene Saülen.

Das unbequeme und Umständliche des Aufbaues obiger Saülen hat Veranlassung zu mehren anderen Vorrichtungen gegeben. Man hat Zink- und Kupferplatten paarweise an einander gelöthet, in einen auf der inneren Seite mit einer Harzschicht überzogenen Kasten oder Trog parallel in einer Entfernung von etwa 3''' angebracht und diese Zwischenraüme mit einer Flüssigkeit angefüllt: der Trogapparat; der Becherapparat. — Ein kleiner Trogapparat aus zollhohen Gläschen mit Wasser, worein aus Kupfer und Zink zusammen gelöthete Bogen reichen, an den beiden Polen mit zwei parallelen Messingscheibchen, zwischen denen ein Goldblättchen schwebt, versehen, dient als äußerst empfindliches Elektrometer.

Statt der einzelnen Zellen hat man eine oder mehre Reihen getrennter Gefäße mit einer größeren Menge Flüssigkeit genommen (Fig. 135.), in welche die an einer gemeinschaftlichen Leiste befestigten Plattenpaare zugleich herabgelassen und auch eben so heraus gezogen werden können. Die Kupferstreifen K' und K" sind an die Zinkplatten Z' und Z" gelöthet und die letzteren zur Vergrößerung des Erfolges von beiden Seiten mit Kupfer frei umgeben, oder jede Zinkplatte befindet sich in einer engen Kupferzelle, in welche die Flüssigkeit eindringen kann. Hierbei wird Z' in Berührung mit K' positiv elektrisch; der positive Strom geht nun durch die Flüssigkeit zum Kupfer, durch K" zu Z" u. s. f. Diese Vorrichtung ist die Wollastonsche Batterie.

II. Wirkungen der strömenden Elektrizität und ihre Wechselwirkung mit Magnetismus und Wärme.

Was nun die Wirkungen voltaischer Ketten und Batterien im Allgemeinen anlangt, so wird unter übrigens gleichen Umständen (bei bestimmter Erregung und bestimmten Leitern) durch die vergrößerte Ausdehnung der Plattenpaare die Menge der zirkulirenden Elektrizität und durch Vermehrung der Anzahl der Plattenpaare die elektrische Spannung vermehrt; im Besonderen aber sind die Erscheinungen in beiden Fällen sehr mannigfaltig.

a) Mechanische Wirkungen im Allgemeinen. Bewegungserscheinungen sind bereits bei der Entwickelung der Theorie der Ketten und Saülen angeführt worden; wir erkannten durch sie die jedesmalige Beschaffenheit des elektrischen Stromes und überhaupt den polarischen Gegensatz. Aus diesem Letzteren läßt sich vermuthen, daß die voltaische Saüle auch zur Ladung einer elektrischen Flasche oder Batterie verwendet werden kann. Und in der That ertheilt sie ihnen, wenn auch ihre Oberfläche noch so groß ist, augenblicklich, sowie die beiden Poldrähte mit den beiden Belegungen verbunden sind, eine der elektrischen Spannung entsprechende Ladung, durch das Zink + E, durch das Kupfer — E. — Dies ist ein Beweis von der übereinstimmenden Natur der Reibungs- und Berührungselektrizität.

Wendet man nun Vorrichtungen an, daß zwei elektrische Ströme durch leicht bewegliche Leitungsdrähte gehen, so läßt sich ihr gegenseitiges Verhalten weiter untersuchen. In Fig. 136 befinden sich auf einem Gestelle zwei isolirte starke Drähte ab und cd an ihren Enden mit Quecksilbernäpfchen, b senkrecht unter d; ein dünner umgebogener Metalldraht mm ruht mit seiner oberen Spitze in dem oberen Näpfchen d im stabilen Gleichgewichte, die untere Spitze berührt das Quecksilber in b. Leitet man nun die Poldrähte nach c und a, so ist die Kette geschlossen und der Strom geht durch den drehbaren Leiter mm. Wird auf gleiche Weise ein zweiter Leitungsdraht angebracht, so zeigt sich das Gesetz: gleichnamige gleich gerichtete Ströme ziehen einander an, ungleichnamige stoßen einander ab.

Dieses Prinzip dient zur Erzeugung verschiedener Bewegungen.

Kreuzen z. B. zwei Ströme ab und cd (Fig. 137.) einander unter einem rechten Winkel; so suchen sie eine parallele Stellung zu erlangen, weil a und d einerseits, c und b andererseits einander anziehen, dagegen a und c, so wie b und d einander abstoßen. Die Bestätigung davon erhält man, wenn der Strom durch ein bewegliches rechtwinkliges Parallelogramm geleitet und seinen verschiedenen Seiten ein anderer Strom genähert wird.

Man kann daher auch eine Rotation eines Stromes unter dem Einflusse eines anderen hervorbringen. Bringt man in der Mitte a (Fig. 138.) eines kreisförmigen Stromes von der Richtung onws einen anderen hervor, der von a nach e und c geht; so stoßen ae und os einander ab, ae und sw ziehen einander an, e rotirt also von s nach w; aus denselben Gründen c von n nach o u. s. w.

Man kann dem Apparate folgende Einrichtungen geben (Fig. 139.). Durch die Mitte eines kreisrunden kleinen und niedrigen Kupfergefäßes mit gesaüertem Wasser gehe senkrecht ein Metallständer ac oben mit einem Quecksilbernäpfchen, in diesem ruhe balanzirend auf einer Spitze ein horizontaler Draht mn mit Kügelchen an den Enden und zwei dünnen Drähten, die senkrecht abwärts in das gesaüerte Wasser gehen. Wird nun ein Strom von a nach c geleitet, so geht er durch nm in der Richtung der Pfeile nach dem Wasser, von da durch b zurück. Diese Vorrichtung braucht man blos in einen kreisförmigen Strom zu setzen.

Für die elektrodynamischen Wirkungen in die Ferne gilt übrigens dasselbe Gesetz, wie für die magnetischen

b) Physiologische Wirkungen und thierische Elektrizität.

α) **Physiologische Wirkungen.** Wenn man von zwei Elektromotoren den einen an den Muskel, den anderen an den Nerven eines frisch präparirten Froschschenkels bringt und die Kette durch einen Leiter schließt (mit dem einen Metalle das andere berührt), so zeigen sich die heftigsten Zuckungen. Diese konvulsivischen Bewegungen zeigen sich bei größeren Thieren und bei Menschen unter Anwendung kräftiger Saülen in bedeutendem Maße. — Belebung Scheintodter.

Hält man die Poldrähte einer thätigen Saüle in den Händen, so empfindet man eine Erschütterung, besonders wenn die Metalldrähte sich in größere Metallstücke enden, diese in möglichst vielen Punkten berührt werden und die Hände angefeuchtet sind, weil die trockene Haut kein guter Leiter ist, oder wenn man die Drähte in ein Wasserbecken leitet und dann die Hände flach auf das Wasser legt. Die Entladungsschläge folgen unmittelbar auf die sich wiederholenden Ladungen, wenn die Kette geschlossen wird; bleibt sie geschlossen, so stellt sich ein brennendes Gefühl ein, welches unerträglich wird, wenn sich eine Wunde in der Richtung des Stromes befindet. Öffnet man dann die Kette, so empfindet man auch einen Trennungsschlag, welcher sogar stärker sein kann.

Legt man einen Finger der einen Hand auf den einen Pol und berührt man in rascher Aufeinanderfolge mit einem der anderen Hand den zweiten Pol, so erhält man bei jeder neuen Berührung einen neuen Schlag.

Neef hat eine Vorrichtung, das Blitzrad, angegeben, um die Leitung in ganz kurzen Zwischenraümen aufzuheben und wieder herzustellen und dadurch den elektrischen Strom zu medizinischen Zwecken anwendbar zu machen. Bei reizbaren Menschen bewirken selbst homogene Metalle, die sonst irgend eine Verschiedenheit (Politur, Temperatur) darbieten, schon Zuckungen.

Führt man den einen Poldraht in eines der Ohren, welches befeuchtet worden und schließt die Kette, indem man den anderen Poldraht in der befeuchteten Hand hält; so hört man ein eigenthümliches Summen, welches von der Zersetzungsthätigkeit der Saüle herrührt.

Auch auf den Geschmack aüßert sich der elektrische Strom. Hält man auf die obere Fläche der Zunge gegen ihre Spitze hin ein elektropositives Metall (Zink) und an das Zahnfleich oder einen anderen Theil des Körpers ein elektronegatives, so bemerkt man bei Schließung der Kette einen saüerlichen Geschmack. Kehrt man die Ordnung der Metalle um, so ist der Geschmack laugenartig oder alkalisch.

Wein schmeckt aus einem Metallgefäße anders, als aus einem Glase. Wasser in einem zinnernen Becher, welcher auf einer Silberplatte steht, die man mit der feuchten Hand berührt.

Schon durch eine einfache Kette lassen sich subjektive Lichterscheinungen hervorbringen, wenn man eine Silberplatte auf das befeuchtete Augenlied legt, eine Zinkplatte in die feuchte Hand nimmt oder an das Zahnfleisch legt und beide außerhalb berührt. Durch eine Saüle wird die Erscheinung weit stärker.

β) Thierische Elektrizität. So wie elektrische Ströme auf den thierischen Körper von Einfluß sind und zwar so lange, als der Lebensprozeß dauert oder wenigstens nur kurze Zeit darüber hinaus; eben so liegt in dem Organismus des thierischen Körpers während seiner Lebensfunktionen eine Quelle von Elektrizität. Erscheinungen der Art treten bei einigen Thieren sehr lebhaft hervor, wie beim Zitteraal, Zitterrochen, Zitterwels. Man erhält von diesen Thieren, wenn man sie in der Luft mit der Hand oder mit einem guten Leiter berührt, einen oft nicht unbedeutenden elektrischen Schlag (durch einen Isolator nicht), der sich durch mehre Menschen fortpflanzen läßt; im Wasser wirken sie wegen der Leitungsfähigkeit desselben sogar auf eine gewisse Entfernung. Es lassen sich durch solche Entladungsschläge alle schon bekannten Wirkungen der Elektrizität hervorbringen: elektrische Flaschen laden, Funken erzeugen, Drähte erhitzen, Magnetnadeln ablenken, Stahlnadeln magnetisiren, chemische Wirkungen erzeugen.

Beim Zitterrochen geht der positive Strom vom Rücken zum Bauche; beim Aale vom Kopfe zum Schwanze, was von der Lage des elektrischen Organes dieser Thiere abhängt. Diese Thiere können willkührlich Schläge austheilen, werden aber dadurch matt und ihre Lebenskraft bedarf einiger Zeit, um wieder in früherer Weise wirksam zu sein. Auch bei anderen Thieren sind elektrische Strömungen nachgewiesen worden. Elektrische Erscheinungen bei Katzen, Menschen. Auch bei lebenden Pflanzen zeigen sich im Vegetationsprozesse elektrische Erscheinungen, während ihres intensivsten Lebens sah man sogar Funken.

c) Chemische Wirkungen; *α*) nach außen. Sie bestehen in Zersetzungen und Verbindungen.

1) Zersetzungen: Leitet man Poldrähte von Platin (oder Silber) einer wirksamen Saüle in ein Gefäß mit Wasser, welches zur Vermehrung seiner Leitungsfähigkeit etwas angesaüert ist, so zeigt sich an den Enden der Drähte eine um so lebhaftere Gasentwickelung, je näher die Drähte einander sind und je größer ihre Oberfläche ist. Man bringt also am Ende Metallstreifen oder Platten an. Die entwickelte Luft ist Knallgas, welches verbrannt Wasser giebt; also ist das Wasser durch den elektrischen Strom in seine Elemente: Sauerstoff- und Wasserstoffgas nach dem Raumverhältnisse 1 : 2 zerlegt, die man in getrennten Gefäßen auffangen kann, und zwar das Sauerstoffgas am positiven Pole. Da 1 Äquivalent Wasserstoff einen doppelt so großen Raum einnimmt, als 1 Äquivalent Sauerstoff, so ist dies eine Bestätigung davon, daß das Wasser aus 1 Äquivalent Sauerstoff und 1 Äquivalent Wasserstoff besteht.

Wir müssen uns demnach das Wasser als aus zwei polarisch entgegen gesetzten Elementen bestehend denken, die in dem Wasser als solchem einander binden. Ein in das Wasser geleiteter negativer Strom (Fig. 140.) zieht aus dem ihm zunächst liegenden Wassertheilchen 1 den positiven Bestandtheil (Wasserstoff, dunkel schattirt) an, stößt den negativen (Sauerstoff) ab; letzterer zieht

aus dem Theilchen 2 auch den positiven an, Wasser bildend, und stößt den negativen ab u. s. f. bis an den positiven Poldraht, von welchem der positive Bestandtheil des Wassers angezogen wird. Zwischen den beiden Poldrähten bleibt das neutrale Wasser in seinem natürlichen Zustande und nur an den Poldrähten selbst sondern sich dann seine Bestandtheile ab, wenn das Metall keine chemische Verbindung mit ihnen eingeht. Der Wasserstoff ist demnach der Träger der positiven Elektrizität und führt dieselbe vom positiven Pole (Z) zum negativen (K); der Sauerstoff führt die negative Elektrizität über.

Nimmt man als positiven Poldraht ein leicht oxydirbares Metall, z. B. Zink, so bildet dies mit dem daselbst entwickelten Sauerstoffe das Metalloxyd, also hier Zinkoxyd und es wird allein Wasserstoff frei.

Hält man in verdünnte Schwefelsaüre eine Zink- und eine Kupferplatte, so wird das Zink angegriffen, ohne daß sich Sauerstoff entwickelt, und an das Kupfer legen sich nur lauter Wasserstoffbläschen, wodurch die Berührung der Flüssigkeit mit dem Metalle theilweise unterbrochen und der Strom geschwächt wird. Gewöhnliches Zink in Salzsaüre läßt wohl auch Wasserstoffgas entwickeln, bringt man es aber innerhalb der Saüre mit Gold in Berührung, so steigt von letzterem ein sehr lebhafter Gasstrom empor.

Nicht nur Wasser, sondern auch andere Oxyde können durch den elektrischen Strom zerlegt werden, wobei der Sauerstoff stets am positiven, der mit ihm verbundene Körper (das Radikal) am negativen Metalle erscheint. Z. B.

Hält man in ein Gefäß mit Zinkvitriollösung eine Zink- und eine Kupferplatte parallel, so verbindet sich bei Schließung der Kette der Sauerstoff mit Zink zu Oxyd und das Zink der Lösung setzt sich am Kupfer als ein Überzug an, wodurch dieses sehr bald gewissermaßen in eine Zinkplatte verwandelt wird, so daß dann Zink und Zink einander nicht mehr erregen und der Strom aufhört. — Wird Chlorsaüre (Salzsaüre) genommen, so wird sie am positiven Pole in Chlor und am negativen in Wasserstoff zerlegt. — Nimmt man eine Kupfervitriollösung, so setzt sich das reduzirte Kupfer an die Kupferplatte, während sich die Zinkplatte oxydirt, also ihren regulinischen Zustand verliert. Auch der Gährungsprozeß wird durch E befördert: das Verderben von Milch bei Gewittern.

Legt man ein leicht reduzirbares Metalloxyd etwas angefeuchtet auf ein Platinblech und leitet den Strom durch, so zeigen sich am negativen Pole kleine Metallkügelchen.

Alkalien und Erden können durch kräftige Ströme zerlegt werden. Aus Kali scheidet sich das Kaliummetall ab. Da dieses sich sehr leicht mit dem Sauerstoffe des Wassers oder der atmosphärischen Luft verbindet, so verpuffen die gebildeten Metallkügelchen bald, indem die durch die angegebene Verbindung frei werdende Wärme das Wasserstoffgas entzündet. Um dieses zu verhindern kann man das sich bildende Kalium sogleich in Quecksilber amalgamiren und es dann von diesem ausscheiden (Aufbewahrung des Kaliums in Steinöl, einer Zusammensetzung aus Kohlenstoff und Wasserstoff).

Bei der Zerlegung der Salze erscheint die Saüre am positiven, die Basis am negativen Pole.

Gießt man in zwei unten verbundene Röhren (Fig. 141.) eine mit Lakmus blau gefärbte Salzlösung und leitet die Poldrähte in die Röhren, so färbt sich die Flüssigkeit am positiven Pole (durch den Sauerstoff) roth, am negativen grün. Nach Vertauschung der Drähte stellt sich zuerst die violette Farbe her und dann tritt eine Umkehrung der Farbe ein. — Die Zersetzung tritt auch ein, wenn die Salzlösung in zwei getrennten Gefäßen ist, die oberhalb durch eine heberförmige gefüllte Röhre oder durch eine andere feuchte Leitung verbunden sind.

Nimmt man drei kleine Becher, füllt den ersten A mit schwefelsaurem Kali, den zweiten B mit Ammoniumauflösung, den dritten C mit Wasser, verbindet A mit B und B mit C durch feuchte Baumwollen- oder Asbestfäden, leitet nach A den Wasserstoffpol, nach C den Sauerstoffpol; so wird die Schwefelsaüre aus A durch B nach C geführt, obwohl sie zum Ammonium eine starke Verwandtschaft hat. Hier wie in anderen Fällen überwiegt die Wirkung der Elektrizität die der chemischen Verwandtschaft.

Weil von zusammen gesetzten Körpern gewisse Bestandtheile sich an den positiven, andere an den negativen Pol begeben, so schließt man, daß diese Bestandtheile ebenfalls entgegen gesetzt polarisch sind und daß die chemische Verwandtschaft, welche sie zu einem Körper verbindet, eigentlich ein elektrischer Zustand ist.

Die Bestandtheile zersetzter Salze können sogar durch thierische Körper in lebendem Zustande geführt werden, was wohl zu medizinischen Zwecken geschehen könnte.

2) Verbindungen. Aber nicht blos Zerlegungen bewirkt die galvanische Kette und Saüle, sondern auch Verbindungen. Diese können nur zwischen zwei polarisch entgegen gesetzten Elementen, wie zwischen +E und —E entstehen. Vollkommen chemisch reines Zink löst sich in verdünnter Schwefelsaüre nur sehr langsam auf; aber so wie es, mit einem Silberstäbchen berührt, positiv elektrisch wird, so löst es der Sauerstoff der Saüre, welcher sich mit ihm verbindet, bald auf, während am Silber Blasen von Wasserstoff lebhaft emporsteigen. — Berührt man mit einem Zinkstäbchen in Salzsaüre befindliches Quecksilber, Silber oder Kupfer, so erfolgt ebenfalls eine lebhafte Gasentwickelung. Auch wenn beide Poldrähte von Zink sind, ändert sich der Vorgang nicht; der negative Zinkdraht wird nämlich nicht angegriffen.

Verbinden sich zwei Stoffe mit einander, so werden sie in der Regel vorher von anderen ausgeschieden; also Verbindungen und Zerlegungen gehen meist Hand in Hand. — Will man Metalle gegen die Oxydation (gegen das Anfressen) schützen, so muß man sie mit anderen Metallen in Berührung setzen, durch welche sie elektronegativ werden. — Stahlwaaren werden durch beigelegte Zinkstücke gegen das Rosten geschützt; die kupfernen Beschläge von Schiffen durch Streifen von Zink, Zinn oder Eisen. (Ein Zinkstück von wenigen Linien Durchmesser schützt eine Kupferfläche von 50 Quadratzoll; an das blanke Kupfer setzen sich aber bei gekupferten Schiffen Seegras und Seethiere an). — Beim Abdampfen der Salzsole in eisernen Pfannen wendet man auch Zink an, womit aber die Sole nicht in unmittelbare Berührung kommen darf, um das Anfressen des Eisens zu verhindern. — Verzinktes Eisen bleibt auch an entblößten Stellen gegen Rost geschützt. — Dachbedeckungen von verzinktem Eisenblech. — Das Zink oder Kupfer darf auf Dächern nicht durch eiserne Nägel befestigt werden. — Sind bleierne Wasserleitungsröhren mit Zinn gelöthet, so verstopfen sich dieselben leicht durch den Niederschlag von Kalk an den gelötheten Stellen.

Ein Zinkstab in Bleizucker (essigsaures Bleioxyd) scheidet das Blei aus, weil er den Sauerstoff anzieht; das Blei bildet dann mit Zink eine Kette, durch welche fortwährend regulinisches Blei am Blei sich ausscheidet. — Einige Tropfen Quecksilber bilden aus salpetersaurem Silber einen Silber- oder Dianenbaum. Metallvegetation. — An Stahl oder Eisen scheidet sich aus einer ungesaüerten Kupfervitriollösung das Kupfer

ab. — Überhaupt gilt die Regel, daß Metalle, welche in der Spannungsreihe dem positiven Ende näher sind, durch solche, die dem negativen näher liegen, aus ihren Auflösungen geschieden werden. Reduktionen finden am negativen Pole, Oxydationen am positiven statt.

Von dem Ausscheiden der Metalle aus ihren Lösungen durch den galvanischen Strom macht man jetzt häufig Anwendung, 1) um unedle Metalle mit einem Überzuge von Silber, Gold, Platin u. s. w. zu versehen; 2) um Abdrücke von Münzen, Gipsabdrücken u. drgl. zu erhalten und Holzschnitte, Kupferplatten mit den feinsten Zeichnungen, ja sogar in Tuschmanier durch Abdrücke zu vervielfältigen. Galvanoplastik.

Durch außerordentlich zarte metallische Niederschläge lassen sich schöne Farbenringe (Nobili) bilden; man bringt nämlich an den einen Pol eine Silberplatte, thut auf sie einige Tropfen essigsaures Bleioxyd und hält in deren Mitte die Spitze des anderen Poldrahtes.

β) Chemische Wirkungen in den Ketten selbst.

1) Abnahme der Stromstärke. Sowohl in der einfachen Kette, als auch in der Saüle wird die Leitung des elektrischen Stromes durch die Flüssigkeit bedingt und diese erleidet dabei eine Zersetzung. Ist es reines Wasser, so bleibt die Natur der noch übrigen unzersetzten Flüssigkeit unverändert; ist es eine Saüre oder Salzlösung, welche den Strom ungleich besser leitet, so wird sie durch die Zersetzung gar bald verändert und dadurch der Strom geschwächt. Besteht eine Kette aus chemisch reinem Zink, so wird durch den Strom nur grade so viel Zink aufgelöst und Wasser zersetzt, als zur Leitung des Stromes nothwendig ist; für jeden Gewichtstheil Wasserstoff, welcher zwischen den Polbrähten (Elektroden) aus Platin frei wird, lösen sich in jeder Zelle der Kette 32,3 Gewichtstheile Zink auf. Da sich aber die Gewichte der chemischen Äquivalente von Wasserstoff und Zink zu einander verhalten wie $12{,}48 : 403{,}23 = 1 : 32{,}3$; so wird für jedes Äquivalent Wasserstoff auch 1 Äquivalent Zink in jeder Zelle aufgelöst. — Die Größe der Zersetzung ist demnach ein Maß für die Stärke des elektrischen Stromes; der Beginn der Zersetzung ist der Anfang des Stromes und seine Fortdauer ist geknüpft an die elektrisch-chemische Zersetzung. Wird die letztere schwächer oder hört sie auf, so ist dies auch mit dem Strome der Fall.

2) Konstante Ketten. Die oben angeführten Ketten besitzen nach dem Gesagten eine ziemlich rasch abnehmende Stromstärke. Soll dieselbe aber eine länger andauernde werden, so muß man dafür sorgen, daß sowohl die Elektromotoren in ihrem rein metallischen Zustande erhalten, als auch, daß die Flüssigkeit nicht so leicht zersetzt und namentlich die Abscheidung des Wasserstoffes an der negativen Platte (Kupfer, Platin, Kohle) verhindert werde. Dies läßt sich nur durch Absonderung der Elektromotoren und Anwendung getrennter Flüssigkeiten für jeden erreichen.

Man setze einen Zinkzylinder in einen etwas weiteren Zylinder von gebranntem porösen Thone (Pfeifenthon) und diesen in einen noch weiteren Kupferzylinder. Gießt man nun in den Thonzylinder verdünnte Schwefelsaüre, in das Kupfergefäß eine konzentrirte Kupfervitriollösung und ver-

bindet die beiden Metalle durch einen Metalldraht, so tritt der positive Strom bei Zink in die Flüssigkeit, der negative beim Kupfer; dort wird Wasser zerlegt und sein Sauerstoff verbindet sich mit dem Zinke zu Zinkoxyd, welches sich in der Saüre zu Zinkvitriol auflöst, während das Wasserstoffgas an die Scheidewand geht und den positiven Strom fortleitet; hier wird das Kupferoxyd zerlegt, indem der negative Sauerstoff nach der porösen Scheidewand geht und dort mit dem ihm entgegen kommenden Wasserstoffe Wasser bildet, während das Kupfer zu dem negativen Pole, dem Kupfer, wandert und sich mit ihm verbindet, so daß seine Natur nicht geändert wird. Wird also die Kupfervitriollösung immer gesättigt erhalten, so bleibt der elektrische Strom eine sehr lange Zeit in seiner ursprünglichen Stärke, und deßhalb nennt man die ihn hervorbringende Kette eine **konstante**. (Daniel).

Man setzt aus solchen konstanten Ketten eine **konstante Batterie** zusammen, wenn man das Zink jeder vorhergehenden Kette mit dem Kupfer der darauf folgenden durch einen Metalldraht verbindet; das Kupfer der ersten und das Zink der letzten bilden dann die Pole, an welche man die Schließungsdrähte anbringt. — Verbände man die gleichartigen Metalle durch Leitungsdrähte, so würde man nur eine einfache Kette mit vergrößerter Oberfläche der Elektromotoren erhalten.

Statt des Thones wendet man auch eine dünne thierische Blase an. Diese Zusammensetzung kann auch in umgekehrter Ordnung geschehen, so daß Zink den äußeren Zylinder bildet.

Nimmt man Kohlenzylinder (ausgeglühte Koaks mit Steinkohlen) statt des Kupfers, so werden diese mit konzentrirter Salpetersaüre in Verbindung gebracht, in welcher sich das Wasserstoffgas sofort zu salpetriger Saüre oxydirt (Bunsen). — Noch wirksamer ist Platin als elektromotorisches Metall (Grove). Statt des theuren Platins kann man platinirtes Blei nehmen und umgiebt dies nicht mit reiner Salpetersaüre, sondern mit einem Gemisch von etwa 8 Gewichtstheilen konzentrirter Schwefelsaüre, 4 Gewichtstheilen Salpetersaüre von 1,34 Dichte und 3 Theilen Wasser; das amalgamirte Zink wird von verdünnter Schwefelsaüre umgeben.

Zur Galvanoplastik, zur Vergoldung u. s. w. sind nur schwach wirkende konstante Ketten brauchbar.

3) **Galvanische Polarisation.** Da sich zufolge der Zersetzung der zwischen den Metallplatten einer Kette befindlichen Flüssigkeit die Platten mit einer Schicht von Stoffen überziehen, welche auf sie elektromotorisch wirken, so wird dadurch nicht nur eine Schwächung der Kette, sondern sogar ein dem Hauptstrome entgegengesetzt wirkender Nebenstrom erzeugt. Leitet man einen schwachen Strom z. B. durch eine verdünnte Goldchloridauflösung, so setzt sich an dem negativen Platinpoldrahte (Kathode) Wasserstoff, an dem positiven (Anode) Chlor ab. Wenn man dann mit Hinweglassung der Kette die Elektroden verbindet, so entsteht ein sehr starker Strom von entgegen gesetzter Richtung, welcher jedoch das Goldchlorid nicht mehr zersetzt, weil sich an dem positiven mit Gold bedeckten Pole das entstehende Chlor mit dem anhaftenden Wasserstoffe und an dem negativen Pole das erst entstehende Wasserstoffgas mit dem Chlor verbindet. Diese Erscheinung heißt die **galvanische Polarisation**.

4) **Ladungssaülen.** Die galvanische Polarisation ist dazu benutzt

worden, (Ritter), um Saülen nur aus einem Metalle mit feuchten Zwischenschichten zu erbauen: **sekundäre** oder **Ladungssaülen**. Setzt man nämlich eine Saüle blos aus Kupfer- und feuchten Papierscheiben zusammen und bringt ihre Enden mit den beiden Polen einer voltaischen kräftigen Saüle in leitende Verbindung, so wird jene Saüle, da die feuchten Scheiben auf den entgegen gesetzten Seiten auch entgegen gesetzte Polarität annehmen, allmählig geladen und erhält eine der ladenden Saüle entgegen gesetzte Strömung der E, welche so stark ist, daß sie sogar chemische Wirkungen hervorbringt. Hierbei muß man aber, da der Entladungsstrom einer solchen Saüle ein vorüber gehender ist, auf jede Entladung rasch wieder eine Ladung erzeugen.

Durch vier Platinplattenpaare, 2½ Quadratzoll groß, in vier abgesonderten Zellen kann man durch 80 Ladungen mittelst einer groveschen Kette und Entladungen in einer Minute 5 bis 6 Kubikzoll Knallgas erzeugen. — Die Grovesche Gasbatterie aus Sauerstoff, Wasserstoff in Glaszylindern mit Platinstreifen, eingetaucht in Zellen mit verdünnter Schwefelsaüre von 1,2 spezifischen Gewichtes (Fig. 142.) ist auch eine Ladungssaüle. Der aüßerste Streifen im Sauerstoff ist der positive, der im Wasserstoffe befindliche der negative Pol.

Um eine recht starke Wasserzersetzung zu erlangen, kann man eine grovesche Kette in der Art mit einer Platin-Eisenkette verbinden, daß das Zink der ersten mit der in Schwefelsaüre (8 Gewichttheile Wasser auf 1 Theil konzentrirte Saüre) stehenden Platinplatte der letzteren, also das Platin jener mit dem in Kaliumlösung (8 Gewichttheile Wasser auf 1 Theil Kali) stehenden Eisen von dieser verbunden ist. Die zweite Kette unterliegt hierbei einer Polarisation, welche eine Gegenkraft erzeugt, die größer ist, als die ursprüngliche Kraft und nicht im Sinne der polarisirenden wirkt.

d) **Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes überhaupt.** Schon die Reibungselektrizität zeigte im Augenblicke der Abgleichung, also der Strömung, einen magnetisirenden Einfluß; also wird wohl die Kontaktelektrizität mit ihrem fortwährenden Strome diesen Einfluß noch stärker hervortreten lassen, was sich in der That bestätigt, man mag einen elektrischen Strom (wir wollen uns der Kürze wegen in Zukunft immer den von + E denken) an einer frei schwebenden Magnetnadel vorüber leiten, oder letztere an beliebige Stellen des Schließungsdrahtes einer thätigen Kette halten. Um die Erscheinungen leichter zu übersehen, wollen wir

A. den Nordpol einer Magnetnadel α) rings um einen festen horizontalen, β) um einen festen senkrechten Leitungsdraht und

B. den Leitungsdraht um den Nordpol führen.

Zu A. Auf einem kleinen Brette befinde sich ein starker Kupferdraht abcd (Fig. 143.), welcher in die Lage dreier Seiten eines Oblongums gebogen ist, so daß der mittelste Theil horizontal, die beiden anderen senkrecht sind; an den Enden a und d sind Quecksilbernäpfchen. Auf einem Gestelle befinde sich eine auf und ab verschiebbare Magnetnadel ns, die rings um bc in paralleler Lage geführt werden kann. (Die Nadel läßt sich auch anders anbringen). Um nun die Nadel durch den Einfluß des Erdmagnetismus der Wirkung des elektrischen Stromes nicht allzusehr zu entziehen, stellt man bc in die Richtung des magnetischen Meridians und ns ist mit ihm so lange parallel, als in bc noch keine elektrische Strömung ist. Bringt man nun die Schließungsdrähte einer thätigen Kette

in die Quecksilbernäpfchen, so zwar, daß der (positive) Strom von Süden nach Norden geht, so weicht der Nordpol

1) über dem Drahte nach Osten aus,
2) östlich vom Drahte nach unten,
3) unter dem Drahte nach Westen,
4) westlich vom Drahte nach oben.

Darin liegt unverkennbar das Bestreben des Leitungsdrahtes den Nordpol der Nadel an allen seinen Stellen ringsum nach derselben Richtung abzustoßen, was Fig. 144. einigermaßen verdeutlicht, wobei die Rundung in der Mitte den Querdurchschnitt des Leitungsdrahtes, worin der Strom von dem Beschauer nach der Zeichnung zu geht und die kleinen Vierseite die Durchschnitte des Magnetstabes bedeuten.

Ginge der positive Strom von N nach S, so würde der Nordpol der Nadel in allen einzelnen Lagen entgegen gesetzt abgestoßen werden.

Um nun den Nordpol um den senkrechten Theil cd des Drahtes so führen zu können, daß sich der Nordpol n′ der Nadel stets dem Leitungsdrahte zuwendet, muß der Südpol s′ durch den Nordpol n″ eines senkrecht angebrachten zweiten Magneten n″s″ fixirt werden. Man findet dann, daß der Nordpol

a) beim aufsteigenden Strome in dc
   1) auf der Südseite des Drahtes nach O,
   2) " " Ostseite " " " N,
   3) " " Nordseite " " " W und
   4) " " Westseite " " " S abgestoßen wird.

b) Beim absteigenden Strome in ba findet das Abstoßen des Nordpoles nach der entgegen gesetzten Richtung statt.

Zu B. Führt man den Schließungsdraht, in welchem der positive Strom von S nach N gehe, horizontal um die Deklinationsnadel, so wird er
   1) oberhalb den Nordpol nach W,
   2) westlich " " " unten,
   3) unterhalb " " " O und
   4) östlich " " " oben abstoßen, also eine Ablenkung ganz nach der obigen Regel hervorbringen (Fig. 145., wobei man sich den Strom von der Zeichnung nach dem Beschauer gerichtet denken muß).

Fassen wir die obigen Erscheinungen zusammen, so sind sie alle in folgender Regel, welche zur leichten Orientirung sehr geeignet ist, enthalten: Man denke sich in den positiven Strom eine menschliche Figur so eingeschaltet, daß sie stets den Nordpol der Nadel ansieht und den Kopf nach der Richtung hat, nach welcher der Strom geht; so wird die ausgestreckte linke Hand stets die Ablenkung des Nordpoles angeben.

Multiplikator. Da der positive von Süd nach Nord unterhalb der Nadel gehende Strom ihren Nordpol nach O ablenkt, so muß der in umgekehrter Richtung, d. i. von Nord nach Süd gehende Strom denselben Pol nach W, also nach derselben Richtung ablenken, wie der oberhalb von Süd nach Nord gehende Strom. Leitet man daher den Schließungsdraht vom Südende der Nadel aus über sie und vom Nordende an zurück unter sie, so wird die Ablenkung der Nadel vergrößert und durch

eine Reihe solcher von einander isolirter der Länge nach rings um die Nadel gehenden Windungen wird die Wirkung auf die Nadel so sehr vervielfältigt, daß selbst äußerst schwache Ströme sich wirksam zeigen. Die an den beiden Enden der Nadel auf- und abwärts gehenden Theile des Schließungsdrahtes heben einander in ihren Wirkungen auf (Fig. 146.). Eine solche Einrichtung heißt ein Multiplikator (Schweigger) und ist das empfindlichste Elektroskop, zumal wenn man sich einer astatischen Doppelnadel (Fig. 147.) bedient, wobei die eine Nadel innerhalb, die andere außerhalb der Drahtwindungen liegt, so daß der zwischen ihnen durchgeleitete Strom auf jede der Nadeln nach derselben Richtung bewegend einwirkt.

Hierbei ist merkwürdig, daß mit der Vermehrung der Anzahl der Windungen des Multiplikators die Einwirkung auf die Nadel nicht in gleichem Verhältnisse vergrößert wird, sondern in einem geringeren. Daraus folgt, daß ein jeder Schließungsdraht der Leitung des elektrischen Stromes einen gewissen Widerstand entgegen setzt. — Soll die Stromstärke bei Verlängerung der Windungen dieselbe bleiben, so muß man einen Draht von einem so vielmal größeren Querschnitte anwenden, als wie vielmal der Draht länger geworden ist. Einer einfachen Magnetnadel ist der Strom nicht im Stande die seiner Stärke zukommende Ablenkung zu geben, weil auf die Nadel noch der Erdmagnetismus als zweite Kraft richtend einwirkt, die Stellung der Nadel also eine Resultirende aus beiden Kräften ist. An der astatischen Nadel zeigt sich aber, daß die Nadel in jedem Punkte des Leitungsdrahtes senkrecht auf die Richtung des Stromes gestellt wird.

Diese Erscheinungen hat man dazu benutzt, um auf große Entfernungen augenblicklich zu telegraphiren. Einrichtung eines solchen elektrischen Telegraphen.

e) Elektromagnetismus und Magnetoelektrizität insbesondere. Aus den obigen Betrachtungen lassen sich eine Reihe von Schlüssen ziehen, welche theils die magnetisirenden Wirkungen der Elektrizität (den Elektromagnetismus), theils die elektrisirenden des Magneten (die Magnetoelekrizität), also überhaupt das Wechselverhältniß zwischen Elektrizität und Magnetismus betreffen.

α) Elektromagnetismus. (Elektromagnetische Induction).

1) Leitungsdrähte von ganz beliebigen Metallen sind so lange magnetisch, als durch sie ein elektrischer Strom geht. Der durch Elektrizität hervorgebrachte Magnetismus ist der Elektromagnetismus.

2) Der Magnetismus eines Leitungsdrahtes besteht nicht in einem polarischen Gegensatze seiner Hälften, sondern darin, daß jedes Theilchen desselben beide Polaritäten besitzt und daß die magnetische Axe auf der Längenaxe des Drahtes senkrecht steht, indem die Magnetnadel sich überall auf dem Leitungsdrahte senkrecht stellt.

3) Geht in einem horizontal von S nach N gerichteten Leitungsdrahte der positive Strom auch von S nach N, so ist in diesem Drahte — M in einer rechts um ihn gewundenen Spirale (von oben nach O, nach unten, nach W, nach oben) wirksam, weil sich der Nordpol (+ M) der darum bewegten Nadel oben nach O, östlich nach unten u. s. w. stellt und in diesen Stellungen von — M des Drahtes angezogen wird. Darin liegt schon, daß + M in dem Drahte in einer nach links gewundenen Spirale (von oben nach W, nach unten, nach O, nach oben) wirksam sein muß.

Eisenfeile ordnen sich in der That am Schließungsdrahte spiralförmig. Elektromagnetische Figuren.

4) Da der Leitungsdraht die Magnetnadel stellt, so muß er auch unmagnetisches Eisen magnetisiren und zwar so, daß bei dem obigen Strome in Nr. 3 eine senkrecht oben aufgelegte Stahlnadel östlich den Nordpol (+ M), die östlich gelegte diesen Pol nach unten, die unten gelegte ihn nach W, und die westlich liegende nach oben erhält.

5) Leitet man um den obigen Schließungsdraht eine nach rechts gewundene Eisenspirale isolirt, so muß ihr nach N liegendes Ende + M, das andere — M zeigen; bei einer links gewundenen ist es umgekehrt. In Fig. 148 ist die grade Linie der Schließungsdraht.

6) Statt die Eisenspirale um den graden Leitungsdraht zu winden, ist es vortheilhafter den Leitungsdraht spiralförmig um einen isolirten (z. B. in einer Glasröhre steckenden) Eisenstab zu winden. Hierbei muß unter Festhaltung der obigen Lage der Stab in der rechts gewundenen Spirale am Nordende + M, am Südende — M haben; bei der links gewundenen ist es umgekehrt. (In Fig. 149 ist die grade Linie der Eisenstab.

Da die einzelnen kleinen Theile des spiralförmig umwundenen Leitungsdrahtes mit dem Eisenstabe nicht genau rechte Winkel bilden, so wirken sie nicht mit ihrer vollen Kraft magnetisirend.

Eine Stahlnadel wird aber augenblicklich so vollständig magnetisch, als sie es nur werden kann. Eine Kupferdrahtrolle, in welcher der Draht etwa 25 Fuß lang und $\frac{1}{8}$ Zoll dick ist (Elias), ist mit Benutzung einer grove'schen Kette sehr geeignet, Stahlstäbe stark und bleibend zu magnetisiren. Windet man den Draht um den Stahlstab abwechselnd rechts und links, so bilden sich magnetische Folgepunkte.

Im weichen Eisen wird zwar ein sehr kräftiger Magnetismus durch den Strom erregt, aber sein Bestehen und Vergehen ist an das des Stromes gebunden. Umwindet man ein hufeisenförmiges starkes Eisen mit dicken Kupferdrähten, so daß die Windungen einander metallisch nicht berühren und nach derselben Richtung gehen, so vermag es, wenn ein ziemlich kräftiger Strom durch den Draht geleitet wird, viele Zentner an einem Anker zu tragen; verliert aber fast sofort seine magnetische Kraft, wenn der Strom aufhört. Durch Umkehrung des Stromes wird auch die Polarität des magnetisirten Eisens umgekehrt. Elektromagnete, Fig. 150.

7) Da der elektrisch durchströmte Leitungsdraht transversal nach entgegen gesetzten Richtungen magnetische Polarität zeigt, so muß ein beweglicher Leitungsdraht unter dem Einflusse entweder des Erdmagnetismus oder eines anderen Magneten, oder auch eines anderen Leitungsdrahtes eine bestimmte Stellung annehmen.

aa) Steckt man in eine dünne Scheibe von Kork, welche auf gesaüertem Wasser schwimmt, parallel neben einander durch den Kork einen Zink- und einen Kupferstreifen, und verbindet sie aüßerlich durch einen Bogen von dünnem Kupferdrahte (Fig. 151.); so geht in letzterem der positive Strom vom Kupfer zum Zink und es stellt sich diese Vorrichtung in den magnetischen Ost-West, mit Zink nach Ost.

bb) Um einen recht leicht beweglichen Leitungsdraht für den Strom zu erhalten, dient folgende Vorrichtung. (Fig. 152.). Auf einem Brettchen befinden sich zwei starke Kupferdrähte vr und wn mit Quecksilbernäpfchen an ihren Enden, wobei n senkrecht unter r liegt; ein mit Seide übersponnener schwächerer Draht sei zu einem rechtwinkligen Parallelogramme ge-

formt und seine beiden, mit rechtwinklig angesetzten Stahlspitzen a und c versehenen Enden seien durch ein dreifaches Knie so gebogen, daß beim Einhängen der Stahlspitzen a und c nach n und r die Seiten g und h horizontal, also b und d vertikal liegen. — Leitet man nun einen positiven Strom nach v, so geht er in d abwärts in b aufwärts. Das stabile Gleichgewicht ist für diese Vorrichtung dann vorhanden, wenn wie hier der positive Strom in der unteren Seite von O nach W, also in der oberen von W nach O geht. Durch Umkehrung des Stromes wird auch das Parallelogramm umgekehrt. — Sollte der Einfluß des Erdmagnetismus beseitigt werden, so müßte man den Strom so leiten, daß die Wirkung des Stromes der einen Seite durch die Wirkung des Stromes der anderen aufgehoben wird, wie die Fig. 153 andeutet.

cc) Wenn schon ein kreisförmiger Schließungsdraht sich senkrecht auf den magnetischen Meridian stellt, so muß dies um so mehr ein System von solchen Kreisen, d. i. eine Spirale, in deren Windungen der Strom eine gleiche Richtung und eine entweder überall gleiche oder von den Enden nach der Mitte hin eine zunehmende Stärke hat. Es muß sich ihre Axe selbst in den magnetischen Meridian stellen und zwar so, daß, wenn bei einer links gewundenen der Strom auf der rechten Seite der Axe aufsteigt, das Ausgangsende der Spirale nach Norden gerichtet ist, weil es + M besitzt (der Nordpol der Erde — M). — Wenn bei einer rechts gewundenen Spirale der Strom auf der linken Seite der Axe aufsteigt, so stellt sie sich mit dem Ausgangspunkte, der — M hat, nach Süden (der Südpol der Erde hat + M).

Es ist hierbei nicht zu übersehen, daß ein in der ersten (links gewundenen) Spirale befindlicher Eisenstab am Ausgangsende derselben — M, in der zweiten + M haben würde und daß der Magnetismus der Spirale selbst dem des Stabes entgegen gesetzt ist. S. oben Nr. 6.

Ein solcher Röhrendraht (Solenoid, Ampère), durch welchen ein elektrischer Strom geht, wird sich, wenn er sich frei horizontal bewegen kann, in die Lage der Deklinationsnadel, und ist er in der Ebene des magnetischen Meridians senkrecht um eine horizontale Axe beweglich, in die Lage der Inklinationsnadel einstellen, sich also gegen die Erde und jeden anderen Magneten ganz wie ein Stahlmagnet verhalten. Durchschneidet man ein solches Solenoid, so haben die Theile, wie bei einem zerbrochenen Stahlmagneten, an der Bruchstelle entgegen gesetzte Polaritäten; die gleichnamigen bleiben nach einerlei Gegend gerichtet.

dd) Wird aber eine Spirale so eingerichtet, daß der Strom in den äußersten Windungen am stärksten ist und nach der Mitte hin gleichmäßig abnimmt, dann verhält sie sich bei gleicher Richtung der Windungen und des Stromes umgekehrt, es bekommt nämlich das Ende, bei welchem der Strom in der links gewundenen Spirale eintritt + M, es wird also von dem Nordpole eines Magneten abgestoßen.

8) Diese Thatsachen berechtigen zu der Annahme, daß sowohl jeder Stahlmagnet, als auch die Erde von elektrischen Strömen umkreiset wird. Der um eine ruhende Deklinationsnadel kreisende positive Strom geht in einer (von S nach N) rechts gewundenen Spirale (auf der unteren Seite von O nach W); der positive Strom geht bei der Erde oben von Osten nach Westen, gleichsam in einer links gewundenen Spirale, da sie im Norden — M besitzt. Es sind nämlich die Erde und

eine ruhende Deklinationsnadel als zwei parallele mit den entgegen gesetzten Polen nach derselben Gegend gerichtete Magnete auszusehen.

Auffallend ist die Thatsache, daß die Rankengewächse in einer rechts gewundenen Spirale wachsen, wie wenn innerhalb der Spirale, also in dem Körper, um welchen sie sich schlingen, ein Magnet mit — M nach unten (wie bei einer Stange aus weichem Eisen) sich befände.

Bezeichnet man zur Versinnlichung des Vorganges die Richtung des Stromes durch Pfeile auf Zylindern aus Pappe (Fig. 154.), so ist es augenscheinlich, daß die einander in grader Richtung genäherten ungleichnamigen Pole dieselbe Stromrichtung (Anziehen), die gleichnamigen entgegen gesetzte (Abstoßen) besitzen, daß dagegen bei zwei parallel mit ungleichnamigen Polen nach derselben Richtung liegenden Magneten die Ströme einander entgegen gehen.

9) Aus dem Obigen folgt die Nothwendigkeit einer früher (a S. 179) schon angeführten Erscheinung, daß zwei elektrische Ströme, welche in grader Linie neben einander entweder parallel oder unter einem Winkel (selbst in verschiedenen Ebenen) nach einerlei Gegend gehen, einander anziehen; geht aber der eine Strom hin, der andere zurück, so stoßen sie einander ab. In dem letzteren Falle liegt, daß selbst die Theile desselben Stromes einander abstoßen (der Winkel, den sie bilden, ist 180°). Wenn daher ein getrennter beweglicher Stromtheil unter einem Winkel von einem gradlinigen Strome weggeht, so wird ersterer längs der Richtung des letzteren hin getrieben; wenn er aber hingeht ohne ihn zu treffen, so wird er dem letzteren entgegen gesetzt getrieben.

β) Magnetoelektrizität. (Magnetoelektrische Induktion).

Da ein Leitungsdraht, durch welchen ein elektrischer Strom geht, sowohl im weichen Eisen eine magnetische Vertheilung erzeugt, als auch auf einen vorhandenen Magneten wie ein Magnet wirkt; so muß auch umgekehrt zufolge der nöthigen Wechselwirkung ein Stahlmagnet oder auch ein durch ihn magnetisirter Eisenstab in einem unelektrischen Leitungsdrahte einen elektrischen Strom erzeugen. In der That findet dieser Schluß seine praktische Bestätigung. Die durch den Magnetismus erzeugte Elektrizität wird Magnetoelektrizität genannt.

Verbindet man nämlich die beiden Enden eines Kupferdrahtes mit den Drahtenden eines hinreichend entfernten Multiplikators und nähert dem Drahte einen starken Stahlmagneten, so weicht die Magnetnadel im Multiplikator augenblicklich ab, kommt aber nach einigen Schwingungen in ihrer ersten Lage wieder zur Ruhe; in dem Augenblicke der Entfernung des Magneten weicht die Nadel auf die entgegen gesetzte Seite aus. Diese Erscheinungen treten natürlich noch kräftiger hervor, wenn man statt des einfachen Drahtes einen um einen hölzernen Hohlzylinder in vielfachen und isolirten Windungen geschlungenen Draht nimmt und dieser Spirale einen der beiden Pole nähert, oder ihn bis zu deren Mitte hineinhält. Induktionsrolle. Den im Leitungsdrahte entstandenen Strom nennt man den induzirten, den des Magneten den induzirenden. Magnetischer Induktionsstrom.

Taucht man senkrecht den Nordpol eines Magneten, bei welchem der positive Strom in einer rechts gewundenen Spirale OSWN geht, in einen von oben nach unten links gewundenen Schraubendraht (ONWS, Fig. 155.); so erzeugt er in ihm durch magnetische Vertheilung zwei Ströme, einen negativen von derselben Richtung, welchen er anzieht (Nr. 8.), und einen positiven, welchen

er in der Richtung der Pfeile auf dem nach dem Multiplikator geleiteten Drahte abstößt. Es muß also bei der gezeichneten Verbindung der Drähte mit dem Multiplikator das Nordende n′ der Magnetnadel nach W (n″) abweichen.

Ist dagegen die Spirale nach links gewunden, oder wechselt man die Drahtenden der Spirale am Multiplikator (am leichtesten vermittelst des Stromwenders oder Gyrotropen), oder taucht man den Südpol in die Spirale, so ist die Abweichung der Magnetnadel eine östliche, weil in jedem der drei Fälle der positive Strom eine entgegen gesetzte Richtung bekommt. Der induzirte Strom hat stets die entgegen gesetzte Richtung von der des induzirenden.

Läßt man den eingetauchten Pol in der Spirale ruhen, so kommt die Nadel nach und nach in ihrer ursprünglichen Lage zur Ruhe; zieht man aber den Pol wieder heraus, so weicht in demselben Augenblicke die Nadel nach der entgegen gesetzten Richtung ab, also im obigen ersten Falle nach O, was ein Zeichen von der Entstehung eines Stromes von entgegen gesetzter Richtung ist. Der vorhin abgestoßene Strom bewegt sich nämlich wieder zurück, um mit dem anderen nun frei gewordenen das Gleichgewicht herzustellen.

Bei einer bestimmten Spirale und einer bestimmten Drahtverbindung bringt ein hineingeschobener Nordpol denselben Strom hervor, wie ein herausgezogener Südpol; thut man dies gleichzeitig mit zwei Magneten, so entsteht ein verstärkter Strom.

Ungleichnamige Pole z. B. eines Hufeisenmagneten bringen in zwei Spiralen einerseits beim Hineinschieben, andrerseits beim Herausziehen jedesmal Ströme derselben Richtung hervor, wenn bei derselben Richtung der Spiralen die Drahtverbindungen umgekehrt werden. Es lassen sich demnach die Windungen zweier oder mehrer Spiralen zu einem Systeme verbinden, um verstärkte Wirkungen hervorzubringen, wie Fig. 156 andeutet.

Es ist nicht nothwendig den Magnet selbst in die Windungen der Spirale einzutauchen; es reicht hin die Spirale mit einem Kern aus weichem Eisen oder mit einem Bündel von Stäbchen aus weichem Eisen auszufüllen und durch Annäherung eines Magneten dieses weiche Eisen nach den Gesetzen der Vertheilung vorübergehend magnetisch zu machen. Die Ströme bleiben dieselben, weil das von dem Magnetpole entferntere Ende des Eisens, also das in der Spirale befindliche, dieselbe Polarität besitzt und die Wirkung doch nur hervorgebracht wird bei der Entstehung und beim Aufhören des Magnetismus in der Spirale. — Dadurch ist der Vortheil erreicht, daß man mittelst Drehung eines Systems von Spiralen vor den Polen eines Hufeisenmagneten eine sehr rasche Unterbrechung und Umkehrung der Ströme erlangen kann. Magnetoelektrische Rotationsmaschine.

Eine Abänderung der Einrichtung, ohne aber das Wesentliche zu verändern, besteht darin, daß man die Enden eines hufeisenförmig gebogenen Stabes ab (Fig. 157.) aus weichem Eisen mit übersponnenem Kupferdrahte in einer bestimmten Richtung umwindet und nun diesem Hufeisen einen kräftigen Stahlmagneten cd mit eben so weit abstehenden Füßen nähert (berührt) und wieder von ihm entfernt.

Der in dem Drahte entstandene Strom hat bei hinreichender Drahtlänge eine solche Intensität, daß bei gehöriger Annäherung der Drahtenden m und m ein lebhafter magnetischer Funke überspringt und eine namhafte Erschütterung wahrgenommen wird, wenn man die an m und n angebrachten Metallzylinder in den befeuchteten Händen hält. Auch die schon bekannten chemischen und anderen Erscheinungen zeigen sich. Zu Wasser-

zersetzungen bedarf man kräftigerer Maschinen, und die Einrichtung muß so getroffen werden, daß der Strom bei der Drehung der Maschine nicht unterbrochen wird; letzteres auch für die magnetischen Erscheinungen.

Lange und dünne Drahtwindungen geben gute Intensitätswirkungen, kürzere und dicke Drähte bessere Quantitätserscheinungen.

Auch der Erdmagnetismus erzeugt induzirte Ströme, wenn man einen Kupferring um eine im magnetischen Meridiane liegende horizontale Axe dreht, oder wenn man eine mit isolirtem Kupferdraht umwundene Stange von weichem Eisen in die Richtung der Inklinationsnadel bringt und sie plötzlich umkehrt.

f) Elektro-elektrische Induktion.

α) Ein Leitungsdraht, durch welchen ein elektrischer Strom geht, muß in einem zweiten benachbarten Leitungsdrahte durch Vertheilung ebenfalls einen Strom hervorbringen. Windet man nämlich um einen hohlen Holzzylinder gleichzeitig zwei isolirte Drähte (Fig. 158.), verbindet die Enden aα des einen mit den Polen einer Kette und die Enden bβ des anderen mit dem Multiplikator, so wird bei Schließung der Kette die Magnetnadel sofort auf einen Strom von entgegen gesetzter Richtung im anderen hinweisen. Bleibt die Kette geschlossen, so kommt die Nadel in ihrer ursprünglichen Lage bald wieder zur Ruhe; aber im Augenblicke ihrer Öffnung weicht sie auf die entgegen gesetzte Seite aus. Es entsteht in dem zweiten Drahte ein elektro-elektrischer Induktionsstrom. (Hauptstrom, Nebenstrom).

Zur Erzeugung des induzirten Stromes ist es schon hinreichend, wenn eine Spirale mit einfachem Drahte in der Nähe einer andern, durch welche ein Strom geht, sich befindet. Es entsteht bei jeder Annäherung und Entfernung des Stromes, (oder bei plötzlicher Vermehrung oder Verminderung der Intensität des Stromes), so wie bei jeder Schließung und Öffnung der Kette der momentane induzirte Strom, der eine um so größere Stärke erlangt, je länger die Windungen sind, so daß selbst eine einfache Kette oder eine Batterie aus nur wenigen Paaren im Stande ist, bedeutende, namentlich physiologische Wirkungen zu erzeugen.

Neef's Induktionsmaschine zu medizinischen Zwecken; auch alle übrigen Wirkungen des Nebenstromes sind ganz die des Hauptstromes.

Der Strom im Schließungsdrahte einer elektrischen Flasche erzeugt im Augenblicke der Entladung auch einen induzirten Strom. Weil aber der Entladungsschlag, selbst wenn man in den Leitungsdraht einen feuchten Bindfaden einschaltet, nur von sehr kurzer Dauer ist, so tritt meist nur der durch das Aufhören induzirte Strom, welcher mit dem Entladungsstrome gleiche Richtung hat, in die Erscheinung. Doves Vorrichtung für den anderen Strom.

β) Schließt man eine einfache Kette nur durch einen kurzen Draht, so zeigt sich beim Öffnen derselben nur ein schwacher Funke; geschieht die Schließung aber durch einen langen aufgewundenen Spiraldraht, so ist der Funke weit lebhafter und man kann sogar eine Erschütterung erhalten, wenn man mit angefeuchteten Händen die an den Drahtenden befestigten metallenen Handgriffe anfaßt. Es erzeugt nämlich der durch den Draht geleitete Strom beim Schließen der Kette in diesem Drahte selbst durch Vertheilung einen elektro-elektrischen Zwischenstrom: Extrastrom. Beim Schlie-

ßen der Kette haben nun beide Ströme, der induzirende und der induzirte Strom entgegen gesetzte Richtung, (Gegenstrom), müssen einander also in ihren Wirkungen schwächen; aber der beim Öffnen der Kette frei werdende induzirte Strom hat mit dem induzirenden dieselbe Richtung, unterstützt also denselben und hilft so eine kräftigere Wirkung hervorbringen.

Die Wirkung dieses Extrastromes wird vergrößert, wenn man der Drahtspirale einen Kern von weichem Eisen giebt, oder noch besser, wenn man ein ganzes Bündel von Drähten aus weichem Eisen hineinsteckt. Wird nämlich die Kette geschlossen, so wird nicht nur in der Spirale selbst ein Strom induzirt, sondern es wird auch das weiche Eisen magnetisch; beim Öffnen der Kette verstärkt nicht nur, wie vorhin, der Extrastrom im Leitungsdrahte den ursprünglichen, sondern dieser wird überdies noch von dem durch das Aufhören der magnetischen Polarität im weichen Eisen frei werdenden ebenfalls induzirten, aber magnetoelektrischen Strome in der Spirale, welcher nach dem Obigen (II., e, β S. 191.) dieselbe Richtung hat, verstärkt.

g) Magneto-magnetische Induktion und Rotationsmagnetismus. Wenn ein Magnet in einem genäherten Leitungsdrahte elektrische Ströme induzirt und diese alle Eigenschaften primärer Ströme haben, wenn ferner elektrische Ströme in Leitungsdrähten die Magnetnadel affiziren; so folgt daraus, daß auch ein Magnet mittelst eines Leitungsdrahtes auf einen Magneten wirken muß. Stellt man zwei Multiplikatoren mit Magnetnadeln in den magnetischen Meridian so weit von einander entfernt, daß die Nadeln nicht mehr auf einander wirken und verbindet man die Drahtenden des einen mit denen des anderen durch Leitungsdrähte, so wird die mit der Hand an der einen Magnetnadel hervorgebrachte Bewegung schon im Stande sein die andere Nadel auch zu bewegen. Die Bewegung der ersten Nadel bringt eine Strombewegung in dem Drahte hervor.

Bringt man einen Magnetstab über einer leicht beweglichen Kupferscheibe in eine schnelle Rotationsbewegung, so zeigt auch die Scheibe eine Neigung dieser Bewegung zu folgen, selbst wenn sie in einem Gehaüse (durch Glas) ganz abgesperrt ist; der Magnet erzeugt nämlich in dem Kupfer einen induzirten elektrischen Strom. Aber auch die parallel mit einer Magnetnadel rasch rotirende Kupferscheibe bringt die in einer Kapsel befindliche Magnetnadel zum Rotiren. Rotirt die Kupferscheibe wie die Erde, so weicht der Nordpol der Nadel darüber nach W ab. Scheiben aus einem schlechten Leiter sind ohne Wirkung. Also nur leitende Körper bringen unter dem Einflusse von Magneten selbst magnetische Erscheinungen hervor, wenn einer von beiden Körpern sich bewegt. Rotationsmagnetismus. — Eine über einer horizontalen Kupferscheibe schwingende Magnetnadel kommt früher zur Ruhe, als ohne Scheibe.

h) Diamagnetismus. Hat man auf die Pole eines kräftigen Hufeisen- (Elektro-) Magneten zwei Stücke weichen Eisens gelegt, welche nach innen schwach kegelförmig zugespitzt sind, so daß die Spitzen einander genau gegenüber stehen und bringt man zwischen diese Pole verschiedene länglich geformte in einer Schleife eines dünnen Seiden- oder Kokonfadens hängende Körperchen, so stellen dieselben sich entweder in der Richtung der Verbindungslinie der beiden Magnetpole, axial, oder darauf senkrecht, äquatorial und heißen demnach entweder magnetische oder diamagnetische.

Axial stellen sich nicht nur Eisen, Kobalt, Nickel (sogar glühend), sondern auch Cer, Chrom, Osmium, Palladium, Platin (schwach), Titan, alle Eisenverbindungen in festem und flüssigem Zustande, wie grünes Glas, die Eisensalze (die Auflösungen in sehr dünnen Glasröhren befindlich), Holz, Papier, Sauerstoff und atmosphärische Luft. — Äquatorial stellen sich u. a. Kieselborsaures Bleioxyd, ganz reines Blei, Phosphor, Wismuth, Staniol, Flintglas, Antimon, Zink, Zinn, rothes und gelbes Blutlaugensalz, Steinsalz, Elphenbein, Schellack, Wasser, Alkohol. — Werden diamagnetische Körper dampfförmig, so behalten sie diese Eigenschaft auch; die Flamme ist diamagnetisch.

Ein etwa $\frac{3}{4}$ Linien dickes Kügelchen von Wismuth bleibt nur so lange zwischen den Polspitzen, als noch kein magnetischer Strom zirkulirt; geschieht dies, so wird es augenblicklich seitwärts getrieben, so wie es auch deutlich abgestoßen wird, wenn man es nur einem Magnetpole nähert, gleichgiltig welchem. Wirken Nord- und Südpol zugleich von derselben Seite, so geschieht dies nicht mit der Summe, sondern mit der Differenz ihrer Kräfte, woraus hervorgeht, daß der Diamagnetismus nicht unabhängig ist von der verschiedenen magnetischen Polarität und also nicht in einer unveränderlichen Eigenschaft des diamagnetischen Körpers beruhen kann. Daraus läßt sich aber auch vermuthen, daß ein diamagnetischer Körper, wie Wismuth, während er unter dem Einflusse eines starken Magneten steht, selbst induzirte magnetische Polarität gegen andere entfernte Magnete zeigen muß. Und in der That läßt sich dies nachweisen, wenn auch die dabei hervortretenden Kräfte nur sehr schwach sein können.

Ist eine symmetrisch magnetisirte Nadel an einem Kokonfaden so aufgehängt, daß die magnetische Axe eines Hufeisenmagneten in der die Nadel senkrecht halbirenden Ebene liegt und wird der Einfluß dieses Magneten durch hinreichende Annäherung eines Stabmagneten vollkommen kompensirt, so zeigt ein zwischen die Pole des Hufeisenmagneten gebrachtes Stück Wismuth gegen den einen Pol der Nadel Anziehung, gegen den anderen Abstoßung, und diese Wirkung wird umgekehrt, wenn man entweder die Pole der beiden einander kompensirenden Magnete umkehrt, oder wenn man statt des Wismuths weiches Eisen anwendet. — Hält man an den Nordpol eines starken Magneten das eine Ende eines Wismuthstabes, so zieht sein anderes Ende wie ein Südpol den Nordpol einer Magnetnadel an, stößt ihn aber wie ein Nordpol ab, wenn man den Südpol des Magneten nimmt; also wirkt (durch einen Magneten) diamagnetisirtes Wismuth auf die Pole einer Nadel stets entgegen gesetzt wie Eisen.

Um nun den Grund dieser Erscheinung zu erforschen, muß man das diamagnetisirte Wismuth auf einen benachbarten Leiter induzirend wirken lassen.

Versuch a. Es wird nämlich durch den dicken Draht eines Elektromagneten ein möglichst starker und konstanter galvanischer Strom geleitet; auf die eine kreisförmige Endfläche des Magneten wird eine hölzerne mit isolirtem Kupferdraht umwundene Rolle gesteckt, die Enden dieses Drahtes sind mit den Enden des Multiplikators eines sehr empfindlichen Galvanometers verbunden, dazwischen aber ein Stromwender eingeschaltet. Bringt man nun in die Drahtrolle einen Wismuthstab, so zeigt die Nadel eine

Ablenkung, welche der grade entgegen gesetzt ist, die ein Eisenstab an derselben Stelle hervorbringt und die Stromrichtung wird beim Herausziehen umgekehrt.

Versuch b. Wird ein an einem Kokonfaden hängendes Wismuthstäbchen seitwärts vor den Nordpol eines horizontalen Elektromagneten gebracht und ihm von derselben Seite (aber nicht in der Nähe des Südpoles dieses Magneten) der Südpol eines schwächeren Stahl- oder Elektromagneten genähert, so zieht dieser das Wismuthstäbchen an. Eisen an der Stelle des Wismuths würde abgestoßen werden.

Versuch c. Wenn ein starker Hufeisenelektromagnet ein Wismuthstäbchen äquatorial gestellt hat und man leitet dann durch einen das Stäbchen in senkrechten Windungen umgebenden Draht einen galvanischen Strom, so lenkt letzterer den Stab nach den beiden verschiedenen Richtungen auch nach verschiedenen Seiten ab, aber stets so, wie es geschehen muß, wenn die Seiten des Stabes mit den ihnen zugewendeten Magnetpolen dieselbe Polarität besitzen.

Versuch d. Ein schwacher Hufeisenmagnet stellt nicht leicht ein Wismuthstäbchen äquatorial; Legt man aber ein Stäbchen von weichem Eisen äquatorial, so erfolgt die äquatoriale Stellung des Wismuths viel leichter.

Daraus folgt nun mit Sicherheit, daß **der Grund für die Wirkung der diamagnetischen Körper in der Induktion transversal magnetischer Ströme liegt, welche eine entgegengesetzte Richtung von der im Eisen durch Magnete erzeugten besitzen.**

Warum sie grade diese Richtung befolgen, bleibt für jetzt noch unermittelt, scheint aber in dem großen Widerstande zu liegen, welchen die Substanz diamagnetischer Körper der richtenden Kraft der beiden Magnetpole entgegen setzt, wodurch die Ströme in den näheren Theilchen kräftiger, als in den entfernteren gerichtet werden, so daß näher an den Polen stärkere Ströme vorhanden sind, als in größerer Entfernung, wodurch nach (e, 7, d) statt einer Anziehung die Abstoßung eintritt. — Auch meint man: ein ferromagnetisches Kügelchen werde getrieben von einer Kraft in der Richtung, in welcher die Magnetkraft am schnellsten zunimmt; ein diamagnetisches aber in derjenigen, in welcher die Magnetkraft am schnellsten abnimmt.

Alle Gase und Dämpfe werden mit Ausnahme des Sauerstoffes von den Magnetpolen abgestoßen, weil die umgebende atmosphärische Luft angezogen wird. Da ihr Magnetismus genau ihrer Dichtigkeit proportional ist, so wird dichtere Luft in dünnerer angezogen, dünnere in dichterer abgestoßen.

Diamagnetismus der Krystalle. Höchst auffallende Erscheinungen zeigen sowohl die ein- als auch die zweiaxigen Krystalle. Eine parallel mit der optischen Axe geschliffene Turmalinplatte stellt sich, wenn der aufhängende Faden in der Richtung der Axe liegt, axial; wenn aber die optische Axe senkrecht auf der Richtung des Fadens steht, äquatorial; also stoßen die Magnetpole die Axe ab. Bringt man einen kleinen säulenförmig krystallisirten Turmalin zwischen die ihm möglichst genäherten Polspitzen, so stellt er sich axial; also überwiegt im ersten Falle der Magnetismus des Krystalles die Abstoßung gegen die Axe, im letzten aber diese. Auch eine senkrecht zur Axe geschliffene Kalkspathplatte zeigt diese Doppelstellung. — Der Grund dieser Erscheinung liegt darin, daß die Elektrizität nach den Richtungen der Axen sich leichter (magnetisch) oder schwerer (diamagnetisch) bewegt.

Schmelzt man magnetischen Staniol mit diamagnetischem Wismuth zusammen, so stellt sich ein Stäbchen aus diesem Gemisch auch doppelt; ebenso Holz, Kohle und andere Körper; aber die magnetischen Kräfte nehmen mit der Entfernung langsamer ab, als die diamagnetischen, oder, was dasselbe ist: diese Körper werden bei schwächerer magnetischer Erregung in den Polen des Elektromagneten angezogen, bei stärkerer abgestoßen; denn die geringe Menge des magnetischen Antheiles erreicht schon bei geringer magnetisirender Kraft ihren Sättigungsgrad. Wenn nun die Wirkung der magnetischen Erregung über die Wirkung der geringen diamagnetischen Erregung des übrigen Antheils überwiegt, so findet Anziehung statt, oder das Gemisch erscheint magnetisch, aber bei wachsendem Magnetismus der Pole kann dann die magnetische Erregung nicht mehr gesteigert werden, während die Wirkung auf den diamagnetischen Bestandtheil zunimmt und so der fast gleich bleibenden magnetischen nach und nach nicht nur gleich kommt, sondern sie dann sogar noch übertrifft.

Vollkommen indifferent in Beziehung auf Magnetismus und Diamagnetismus ist kein einziger Körper. — Aus diesen Betrachtungen folgt nun, daß alle Körper in Beziehung auf das Verhalten zum Magnetismus in zwei Klassen zerfallen:

1) in solche, die von Magneten angezogen werden, magnetische;
2) in solche, welche von ihm abgestoßen werden, diamagnetische.

Die Kraft, womit die Axen der Krystalle abgestoßen werden, ist unabhängig von der magnetischen oder diamagnetischen Beschaffenheit der Masse des Krystalles und nimmt mit der Entfernung von den Polen langsamer ab, als die magnetische oder diamagnetische Kraft dieser Pole.

Nach diesen Betrachtungen ist es möglich durch Magnete bei Krystallen, selbst wenn sie undurchsichtig sind und jede Spur von Krystallform verwischt ist, die optischen Axen zu bestimmen, weil die Formen der kleinsten Massentheile und darnach die krystallographische Struktur zu den magnetischen Kräften in einer bestimmten Beziehung stehen.

i) Rotationserscheinungen des Elektromagnetismus und der Magnetoelektrizität. Die elektrischen, magnetischen, elektromagnetischen und mognetoelektrischen Ströme hat man dazu benutzt, um mancherlei Rotationsbewegungen zu erzeugen, die man versucht hat zum Betriebe von Maschinen zu verwenden.

1) Rotation eines beweglichen Stromes um einen festen Magneten. An einem Gestelle befinde sich eine horizontale hölzerne Scheibe aa (Fig. 159.) mit einer kreisförmigen Rinne rr zu Quecksilber, durch die Mitte der Scheibe gehe ein Stabmagnet ns mit dem Nordpole nach oben, dieser trage eine kupferne (oder stählerne) Hülse mit einer Vertiefung in der Mitte, in welcher auf einer Spitze ein Kupferbügel bb mit einem Quecksilbernäpfchen e über seiner Mitte und mit Platinspitzen an seinen bis in das Quecksilber der Rinne reichenden Enden ruht. Leitet man nun nach e und r die Schließungsdrähte einer thätigen Kette so, daß der positive Strom nach r eintritt, also in b und b aufwärts geht, so erfolgt eine Rotation des Bügels in der Richtung WSON.

Die Richtung der Bewegung wird entgegen gesetzt, wenn man entweder die Pole oder die Stromrichtung umtauscht; thut man beides, so bleibt sie dieselbe.

2) Rotation eines (oder zweier zu einem Systeme verbundenen) Magneten um einen festen Leitungsdraht. Zwei Parallele mit ihren gleichnamigen Polen nach derselben Richtung gehende Magnete (Fig. 160.) sind durch ein messingenes Querstück in der Mitte verbunden. Letzteres

hat oben über dem Schwerpunkte des Systems ein Häckchen, um an einem Seidenfaden m aufgehängt zu werden; unten eine Spitze, welche in das Quecksilbernäpfchen o des messingenen Ständers ee reicht und seitwärts einen gebogenen Messingstreifen c mit einer Platinspitze, welche in die Quecksilberrinne rr wie oben reicht. Leitet man in das Quecksilbernäpfchen e einen elektrischen Strom, so geht er in dem Ständer eo aufwärts neben den Nordpolen der beiden Magnete vorüber, durch das Querstück und c in die Quecksilberrinne und von da durch den anderen Leitungsdraht zurück nach der Kette. Die Rotation der Magnete muß dann von W über S nach O u. s. w. stattfinden.

3) Rotation eines Magneten um seine eigene Axe. Wird der Strom durch die eine Hälfte eines um seine Axe beweglichen Magneten geleitet, so erfolgt auch eine Drehung. An den einen Pol eines Magneten, z. B. den Nordpol, werde eine Hülse e (Fig. 161.) mit einem Quecksilbernäpfchen angebracht, in dessen Mitte ein Häckchen sich befindet, um den Magneten an einem Faden m senkrecht aufzuhängen. An der Mitte des Magneten sei eine zweite Hülse c befindlich, die einen Kupferstreifen mit einer abwärts gebogenen Platinspitze trägt und letztere tauche in eine kreisförmige Quecksilberrinne, in deren Mitte sich der Magnet frei bewegen kann. Wird nun der positive Strom nach e, von da durch die obere Hälfte des Magneten nach der Quecksilberrinne und von hier aus zurück nach der Kette geleitet, so erfolgt die Rotation des Magneten von W über S nach O u. s. w.

4) Bewegung eines Elektromagneten zwischen den Polen eines Stahlmagneten. Ein Zylinder aus weichem Eisen sei horizontal auf einer senkrechten in seiner Mitte angebrachten Spitze drehbar zwischen den Polen n s (Fig. 162.) eines Hufeisenmagneten und über einer kreisförmigen Quecksilberrinne, welche diametral in zwei Abtheilungen a und c geschieden ist; die Enden der isolirten Drahtwindungen, womit jener Zylinder umgeben ist, reichen herab nach a und c, zu welchen die Poldrähte p und p′ einer galvanischen Kette führen. Ohne elektrische Strömung stellt sich der Eisenzylinder mit seiner Axe in grader Richtung zwischen n und s; leitet man aber den Strom nach a und nimmt man an, daß er von da aus und dem darin befindlichen Ende des Kupferdrahtes in einer nach links gewundenen Spirale um den Eisenzylinder geht; so wird n′ Nordpol, s′ Südpol; n′ wird von n westlich, s′ von s östlich abgestoßen, so daß diese Bewegungen einander unterstützen. Nach dem Beharrungsvermögen legt n mehr als 90 Grade zurück, wird also dann von s angezogen, überschreitet dabei die Abtheilung a der Quecksilberrinne, wird dadurch zwar zu einem Südpole, also von s abgestoßen, muß aber wegen des Beharrungsvermögens doch bei s vorüber und beschreibt dann, durch dieses abstoßende s in seiner kreisförmigen Bewegung unterstützt, vollständige und wiederholte Umlaüfe. Bei jedem Übergange der Enden des Kupferdrahtes über die Gränze der Quecksilberabtheilungen erscheint wegen des eintretenden Stromwechsels ein lebhafter Funke.

Verbindung des rotirenden Elektromagneten mit einem Räderwerke zu technischen Zwecken. Bedeutendere Erfolge können aber deßhalb nicht erreicht werden, weil der Stromwechsel im weichen Eisen nicht momentan stattfindet, besonders

bei größeren Eisenmassen; besser ist es, den Stromwechsel in der Spirale, innerhalb welcher der Elektromagnet rotirt, zu bewirken. Die induzirten Ströme wirken auch hemmend ein. Elektromagnetische Telegraphen mit Alphabeten.

5) Der elektromagnetische Motor. Eine elektromagnetische Spirale zieht einen Eisenkern mit einer gewissen Kraft (die dem Quadrate der Stromstärke proportional ist) hinein, und diese kann auch als eine bewegende Kraft benutzt werden. Man leitet den Strom abwechselnd durch zwei an einander stoßende horizontale Spiralen in derselben Richtung, wodurch der im Innern befindliche Eisenkern dieselbe Polarität behält und abwechselnd in die Spiralen gezogen, also hin und her bewegt wird. Ist nun an dem Eisenkerne eine Triebstange auf Friktionsrollen, so kann diese leicht ein Schwungrad in Bewegung setzen und dieses mittelst einer excentrischen Scheibe den Kommutator reguliren.

6) Rotation kreisförmiger Leitungsdrähte zwischen oder außerhalb der Pole eines Stahl- oder Elektromagneten. Die Einrichtungen dazu lassen sich nach dem Gesagten leicht vorstellen.

k) Wärme und Lichterscheinungen der Elektrizität und des Magnetismus. Der Verbindungsdraht einer einfachen Kette von größerer Oberfläche wird nicht nur sehr warm, sondern selbst glühend und schmilzt, wenn er kurz und dünn genug ist.

Dünnes Blattgold u. drgl. wird unter lebhaften Funken verflüchtigt. Bei Berührung und Trennung der Poldrähte einer Saüle zeigen sich ebenfalls helle Funken, welche von einem Knistern begleitet sind. Eine außerordentlich intensive und schöne Lichterscheinung erhält man, wenn die Poldrähte einer Saüle von großen und vielen Plattenpaaren in einen luftleer gemachten Glaszylinder geleitet und an den Enden mit zugespitzten (aus Koaks) präparirten Kohlenstückchen versehen werden. Bei kräftigen Saülen, einer großen Berührungsfläche der Kohle mit den Poldrähten und größerer Annäherung der Kohlenspitzen zeigt sich das Licht auch in der atmosphärischen Luft. Wenn dann die Kohlenspitzen von einander entfernt werden, bildet sich ein schöner Lichtbogen mit einer so intensiven Hitze, daß darin Platin wie Blei schmilzt, Kalk, Quarz, Saphir u. s. w. in Fluß kommen und Reißblei, Diamant verflüchtigt werden. — Funken magnetoelektrischer und induzirter Ströme; Funke bei jeder Stromumkehrung. Bemühungen das elektrische Licht zu technischen und praktischen Zwecken brauchbar zu machen. Phosphor, Schwefel, Schießpulver, Knallgas lassen sich anzünden.

Die Polarlichter sind elektromagnetisches Licht in den dünnen höheren Schichten der Atmosphäre. Da die Magnetnadel bei ihrem Erscheinen in unruhige Bewegung geräth, so müssen sie eine Folge sein von der zeitweisen Unterbrechung der elektrischen Ströme, welche die Erde umkreisen.

l) Elektrische und magnetische Erscheinungen der Wärme; Thermoel. und Thermomagnetismus. Wenn in einem Leitungsdrahte durch einen elektrischen Strom Wärme erzeugt wird, so muß auch die an einem Metalldrahte, welcher mit einer Kette in Verbindung steht, hervorgebrachte Wärme eine elektrische Strömung hervorrufen. Und wirklich entstehen an einer geschlossenen selbst nur aus einem einzigen Metalle (besonders aus Wismuth oder Antimon, oder anderen Metallen, wenn man Drähte aus ihnen zieht mit harten und weichen Stellen) konstruirten Kette durch Erwärmung oder auch Abkühlung, also durch Hervorbringung einer Temperaturdifferenz) elektrische Ströme, welche man selbst schon durch eine kleine recht bewegliche Magnetnadel, besser aber durch den Multiplikator erkennt.

Es giebt auch manche Steine, wie der Borazit, brasilianische Topas und namentlich der Turmalin, welche durch Erwärmung polarisch elektrisch werden, letzterer namentlich sogar in der Art, daß seine Bruchstücke in derselben Richtung die Polaritäten zeigen, wie der ganze, so daß er große Ähnlichkeit mit einer trockenen Saüle oder einem Magneten besitzt. Weil durch Druck Wärme frei wird, zeigen manche Fossilien nach einem Drucke auch elektrische Erscheinungen. Der in einer Metallschale zum Schmelzen gebrachte und dann isolirte Schwefel zeigt — 2, das Metall + E.

Da bei Schließungsdrähten die Stellen, an denen verschiedenartige Metalle einander berühren, bei Durchleitung des Stromes im allgemeinen wärmer werden, wenn der positive Strom vom schlechteren zum besseren Leiter geht, als bei umgekehrter Richtung; so läßt sich vermuthen, daß wenn man zwei verschiedenartige zusammen gelöthete Metalle an der Löthstelle erwärmt und die beiden anderen Enden mit einem Multiplikator verbindet, ein elektrischer Strom entsteht.

Löthet man auf einen Stab W (Fig. 163.) von Wismuth einen Kupferstreifen K so auf, daß ein Rektangel entsteht, stellt dasselbe in den magnetischen Meridian, in dasselbe eine Magnetnadel ns und erwärmt die südliche Löthstelle S, so zeigt die westliche Abweichung des Nordpoles der Nadel an, daß der positive Strom von der Löthstelle aus durch das Kupfer von S nach N geht, also Wismuth negativ elektrisch geworden ist. Diese Stromrichtung bleibt, wenn man die nördliche Löthstelle abkühlt; der Strom wird verstärkt, wenn man jene erwärmt, diese abkühlt, also überhaupt die Temperaturdifferenz der Löthstellen vergrößert. — Diese durch Wärme erzeugte Elektrizität heißt Thermoelektrizität; offene, geschlossene thermoelektrische Kette.

Dieselbe Stromrichtung erscheint, wenn man auf einen Stab von Kupfer (oder Wismuth) einen Streifen von Antimon ganz auf dieselbe Weise löthet, stellt und erwärmt (Fig. 164.). Erfolgt die Erwärmung an der nördlichen Stelle, so ist auch die Strömung umgekehrt.

Sowie durch Verschiedenheit der Temperatur an den beiden Löthstellen zwei entgegen gesetzte elektrische Ströme erzeugt werden, so muß auch vermittelst eines durch ein solches System geleiteten elektrischen Stromes eine Temperaturdifferenz an den Löthstellen hervorgebracht werden können. In der That beobachtet man, wenn dem Strome die im Obigen angezeigte Richtung gegeben wird, an der Südstelle Wärme, an der Nordstelle unter Umständen eine so große Abkühlung, daß Wasser in einer daselbst angebrachten Vertiefung in Eis verwandelt werden kann. Hierbei braucht der Apparat nicht die Stellung von N nach S zu haben.

Aus zwei oder mehren einfachen thermoelektrischen Ketten lassen sich thermoelektrische Batterien von verschiedener Form konstruiren (Fig. 165.), bei denen man immer nur jede zweite Löthstelle (1, 3, 5) zu erwärmen braucht. Offene, geschlossene thermoelektrische Batterien. Thermoelektrischer Kamm.

Eine thermoelektrische Saüle mit einem Multiplikator, in welchem sich eine astatische Doppelnadel befindet, giebt ein äußerst empfindliches Thermoskop und ist zur Untersuchung der schwächsten Ströme geeignet. Thermomultiplikator.

In einer Saüle ist die Stromstärke der Anzahl der in Thätigkeit gesetzten Elemente proportional. Setzt man in einer Saüle von n Paaren

nur ein Paar in Thätigkeit, so ist die Stromstärke n mal geringer, als der Strom, den dieses Paar für sich allein geben kann. Die Stromstärke verhält sich also wie umgekehrt die Länge der Kette. — Bei konstanter Temperaturdifferenz ist auch die Stromstärke unveränderlich und kann bei zwei bestimmten Metallen, bei bestimmter Temperaturdifferenz und einem bestimmten Schließungsdrahte gut als Maßeinheit dienen.

Die thermoelektrische Spannungsreihe der Metalle ist: Antimon, Arsenik, Eisen, Zink, Gold, Kupfer, Messing, Blei, Zinn, Silber, Mangan, Kobalt, Platin, Nickel, Quecksilber, Wismuth.

Ein thermoelektrischer Strom kann auch dazu verwendet werden, um weiches Eisen, welches mit isolirtem Drahte umwunden ist, für die Zeitdauer der Strömung zu einem ziemlich kräftigen Magneten zu machen. **Thermomagnetismus.**

Einfluß der Tages- und Jahreszeiten auf den Magnetismus. Man hat gefunden, daß der Magnetismus wie die Wärme die Luft und die gasförmigen Körper ausdehnt. — Thermoelektrische Strömungen bei der Erde.

III. Gesetze der Stromstärke und Leitungswiderstände.

Nachdem wir nun die elektrischen und magnetischen Erscheinungen im Allgemeinen kennen gelernt haben, wollen wir noch einige Betrachtungen über die Kraft der galvanischen Ketten, die Gesetze der Stromstärke einfacher und zusammen gesetzter Ketten (absolutes Maß für die Stromstärke) und die Gesetze, nach welchen die magnetisirenden Wirkungen erfolgen, anstellen. Es ist wichtig hierbei Instrumente zu besitzen, welche die Stärke des Stromes bestimmen lassen. Dazu dienen die Tangenten- und Sinusboussole.

Wenn sich eine möglichst kurze Magnetnadel, befestigt auf einer längeren sehr leichten Kupfernadel in einem horizontalen getheilten Kreise, der um eine senkrechte Axe drehbar ist, befindet, und um diesen Kreis über seiner Mitte senkrecht ein Multiplikatordraht gewunden ist, so wird die darunter und zugleich im magnetischen Meridiane liegende Magnetnadel bei der Durchleitung eines Stromes eine Ablenkung erfahren. Ist (Fig. 166.) NS die Richtung des magnetischen Meridians und lenkt in ihm ein Strom die Nadel nach der Richtung cd ab, so wird sie in ihrer dann erlangten neuen Lage durch zwei Kräfte im Gleichgewichte gehalten, nämlich durch die Kraft des Erdmagnetismus e nach der Richtung NS ($e \parallel NS$) und durch die Stromkraft s senkrecht auf NS. Zerlegt man sowohl e als auch s in die Seitenkräfte, von denen jedesmal die eine auf cd senkrecht, die andere mit ihr parallel ist; so kann das Gleichgewicht nur dann eintreten, wenn die senkrechten Seitenkräfte einander gleich sind. Ist w der Ablenkungswinkel der Nadel, so ist $s = e \cdot tg w$, wobei e einen konstanten Werth hat. Daraus folgt, **daß die Stromkraft zweier Ströme der Tangente des Ablenkungswinkels proportional ist.**

Dreht man sodann die senkrechten Drahtwindungen der abgelenkten Nadel so weit nach, bis sie wieder genau unter ihnen steht, wobei der ursprüngliche Ablenkungswinkel sich vergrößert, so wird die Kraft k des auf die Nadel wirkenden Erdmagnetismus für verschiedene Ströme und Ablenkungswinkel n und r dieselbe sein und die Kraft der Ströme durch $k \sin n$ und $k \sin r$ dargestellt und demnach werden sich die Kräfte, welche

in beiden Fällen die Nadel in den magnetischen Meridian zurück zu führen streben, oder die Stromstärken sich verhalten, wie die Sinuse der Ablenkungswinkel.

Durch diese Mittel ist es möglich geworden, die Kräfte der galvanischen Ketten und der elektrischen Ströme überhaupt genau zu bestimmen und anzugeben, welchen Einfluß

1) die Verschiedenheit der Elektromotoren, 2) die Menge der Elemente, 3) die Beschaffenheit der feuchten Leiter, 4) der Widerstand der Schließungsdrähte hat.

Die Rücksicht auf den ersten Punkt giebt uns die oben angeführten Spannungsreihen.

Betrachten wir nun ferner den Strom zunächst einer einfachen geschlossenen voltaischen Kette. Berührt man gleichzeitig zwei gleich stark gleichnamig geladene Konduktoren einer Elektrisirmaschine mit einem isolirten Leiter, so findet kein Übergang, oder kein Strom von E statt; zu einem Strome nämlich gehört eine einseitige Anhaüfung, wie es der Fall ist, wenn man mit einem nicht isolirten Drahte einen geladenen Konduktor berührt. Der Strom ist hier nur momentan, er vermag auch nur momentan wirksam zu sein, z. B. einen Eisendraht glühend zu machen; selbst wenn er von einer stark geladenen Batterie kommt. Aber der Strom eines einzigen voltaischen Elementes von großer Ausdehnung vermag den Draht andauernd glühend zu erhalten; es ist also hier eine viel reichlicher fließende Quelle von E vorhanden und zwar an der Berührungsstelle der Elektromotoren.

Nur in der geschlossenen Kette ist Strömung; der Strom findet aber zwei Widerstände, einerseits im Schließungsdrahte, andererseits in der Flüssigkeit, durch welche er muß. Der erstere ist bei einem kurzen Wege unbedeutend, überhaupt aber steht die Stromstärke in umgekehrtem Verhältnisse mit der Länge (bei bestimmter Dicke) und in gradem Verhältnisse der Querschnitte des Schließungsdrahtes (bei bestimmter Länge).

Zwei Drähte desselben Metalles werden also gleichen Widerstand ausüben, wenn sich bei gleicher Temperatur ihre Längen wie umgekehrt die Querschnitte verhalten. Mit zunehmender Wärme wächst in der Regel der Widerstand.

Daraus lassen sich Anwendungen für eine zweckmäßige Benutzung des Multiplikators machen. Schaltet man einen Multiplikator in eine Kette von bedeutender Länge, so muß er selbst aus einer großen Anzahl nicht gar dicker Windungen bestehen; schaltet man ihn in eine kurze Kette, so muß er aus einem kurzen dicken Drahte von wenigen Windungen bestehen; er ist aber auch in diesem Falle nicht im Stande die Stromstärke bedeutend zu vermehren.

Die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle ist sehr verschieden; z. B. Silber 136, Gold 103, Kupfer 100, Zink 28, Platin 22, Eisen 17, Quecksilber 2,6. Es würden Drähte von gleichen Dicken aus diesen Metallen die beigesetzten Zahlen als Längenverhältnißzahlen haben müssen, um gleichen Widerstand zu leisten.

Die Flüssigkeiten leiten gegen die Metalle außerordentlich schlecht, z. B. eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol 2½ Millionen mal schlechter, als Platin. Um den großen Leitungswiderstand der Flüssigkeiten so viel als möglich zu vermindern, muß man die Schicht derselben, durch welche der Strom geht, möglichst dünn machen, zugleich aber ihre chemische Beschaffenheit zu erhalten suchen.

Die Menge der E, welche durch einen Leiter strömt, hängt also 1) von dem Leitungswiderstande W und 2) von der Spannung S ab, welche die E durch den Leiter treibt und ist gleich $\frac{S}{W}$. Ist zunächst bei einer einfachen geschlossenen Kette die elektrische Spannung s, der Widerstand der Kette selbst w, im Schließungsdrahte w'; so ist die Stromstärke gleich $\frac{s}{w+w'}$. Bilden n solche Elemente eine Saüle, so ist in ihr die Spannung ns, und der Leitungswiderstand nw; folglich mit Benutzung desselben Schließungsdrahtes der Leitungswiderstand $\frac{ns}{nw+w'}$. Ist dabei w' sehr klein, so ist $\frac{s}{w+w'}$ nahe gleich $\frac{s}{w}$ und $\frac{ns}{nw+w'}$ nahe gleich $\frac{ns}{nw}$, also auch $\frac{s}{w}$ nahe gleich $\frac{ns}{nw}$; d. h., ist der Leitungswiderstand im Schließungsdrahte sehr klein, so hat die Vermehrung der Elemente auf die Stromstärke fast gar keinen Einfluß, was nicht der Fall ist, wenn im Schließungsbogen ein bedeutender Widerstand zu überwinden ist; in diesem Falle wird die durch eine Vermehrung der Plattenpaare vergrößerte Intensität des Stromes den Durchgang erzwingen.

Wenn man nun, statt die Anzahl der Elemente zu vermehren, die Oberfläche eines einzelnen vergrößert, z. B. die unseres ersten Elementes (mit der Stromstärke $\frac{s}{w+w'}$) n mal nimmt, so wird die elektrische Spannung s der Elektromotoren zwar dieselbe sein, aber der Widerstand der n mal größeren Flüssigkeitsschicht ist jetzt n mal kleiner, also $\frac{w}{n}$, weil durch eine n mal größere Schicht n mal mehr Elektrizität zirkuliren kann und die Stromstärke ist $\frac{s}{\frac{w}{n}+w'} = \frac{ns}{w+nw'}$. Wenn der Leitungswiderstand w' im Schließungsdrahte als Null angesehen wird, so ist die Stromstärke nahe gleich $\frac{ns}{w}$, d. h. die Stromstärke steht in gradem Verhältnisse mit der Oberfläche des Elementes unter übrigens gleichen Umständen.

Diese zwei Gesetze (Ohm) sind durch Versuche vollkommen bestätigt worden. Man kann also kurz sagen: Die Größe der Plattenpaare steht mit der Quantität, ihre Anzahl mit der Intensität der Elektrizität in gleichem Verhältnisse.

Aus der relativen Größe von w und w' läßt sich in den verschiedenen Fällen die Stromstärke beurtheilen. — Die Stromstärke einer Batterie im Maximum ihrer Wirkung ist gleich dem halben Maximum der Stromstärke einer der einfachen Ketten, aus denen die Batterie zusammen gesetzt ist.

Was nun die Gesetze, nach welchen die magnetisirenden und Wärme-Wirkungen des elektrischen Stromes vor sich gehen, anlangt, so hängen sie vorzüglich ab von der Stärke des Stromes, der Leitungsfähigkeit des Drahtes, von seiner Länge und Dicke und der Weite der Windungen.

Die Stärke des Magnetismus steht 1) mit der Stromstärke, 2) mit der Leitungsfähigkeit des Drahtes in gradem Verhältnisse bei übrigens gleichen Umständen; also im ersten Falle bei einem bestimmten Längenstücke der Kette, im anderen bei bestimmter Stromstärke. Die Dicke des um weiches Eisen gewundenen Spiraldrahtes und die Weite der Windungen hat bei gleichbleibender Stromstärke keinen Einfluß, wenn nur das Eisen aus den Windungen weit genug hervorragt. — Die Gesammtwirkung steht

1) mit der Anzahl der Windungen des Leitungsdrahtes und 2) mit dem Durchmesser des zu magnetisirenden Eisens in gradem Verhältnisse. Die Tragkraft zweier Elektromagnete (oder eines Elektromagnets und des weichen Eisens) verhält sich wie die Quadrate der magnetisirenden Ströme.

Daraus folgt also, daß man mit einem bestimmten elektrischen Strome, selbst wenn er schwach ist, beliebig starke Magnete machen kann, wenn man nur hinreichend dicke Eisenstäbe udd hinlänglich lange Spiraldrähte anwendet. (Ihre Länge muß in gleichem Verhaltnisse mit der Dicke wachsen, wofern die Wirkung mit der Länge in gradem Verhältnisse stehen soll).

Was endlich die innerhalb einer bestimmten Zeit in einem bestimmten Theile der Kette, er mag starr oder flüssig sein, entwickelte **Wärmemenge** anlangt, so ist sie **proportional dem Quadrate der Stromstärke, multiplizirt mit dem Widerstande dieses Theiles der Kette.** Aber die gesammte von einer galvanischen Kette in einer bestimmten Zeit entwickelte Wärme ist nicht blos von der Stromstärke (oder der Menge des in dieser Zeit elektrolytisch aufgelösten positiven Metalles), sondern noch von der elektromotorischen Kraft direkt abhängig. Wird also der Widerstand verringert und demnach die Stromstärke erhöht, so geschieht letzteres auch mit der Wärme. Übrigens aber nimmt der Leitungswiderstand eines bestimmten Drahtes mit Zunahme seiner Temperatur auch zu.

Vierter Abschnitt.

Vom Lichte.

I. Erscheinungen des Lichtes im Allgemeinen.

a) **Zustände der Körper in Beziehung auf das Licht.** Werden Körper heftig gerieben oder zusammengedrückt, so entsteht nicht selten blos Wärme, sondern es wird auch Licht erzeugt, d. h. die Körper werden in einen Zustand versetzt, in welchem sie nicht blos auf unser Gefühl, sondern auch auf unser Gesicht einen gewissen Eindruck machen. Das **Licht** ist der Zustand der Körper, in welchem sie uns sichtbar werden, gleich wie der Schall derjenige war, in welchem sie hörbar wurden. Auch das Licht ist an die Materie gebunden.

Reiben von Holz an Holz, z. B. an den Wagenrädern; Schlagen eines Steines an einen anderen oder an Stahl, von Zucker an Zucker oder Metall, Zusammendrücken von Luft (pneumatisches Feuerzeug); chemische Verbindungen und Zersetzungen (Platinschwamm und Wasserstoffgas); elektrisches Licht; das Licht der Himmelskörper — Sternschnuppen und Feuerkugeln; leuchtende Insekten; faulende Thier- und Pflanzenkörper; mit Flamme brennende und glühende Körper; Phosphor.

Bekannte Erfahrungen zeigen, daß Wärme und Licht entweder vereint oder getrennt an einem bestimmten Körper vorhanden sind. Manche Körper sind durch ihr eigenes Licht sichtbar, sie heißen **leuchtende**; andere werden erst dadurch sichtbar, daß sie dem Lichte leuchtender Körper ausgesetzt werden, sie heißen **dunkle**; sie erlangen aber auch sehr oft dadurch, ja selbst durch bloße Erwärmung die Eigenschaft selbstleuchtend zu werden und heißen **phosphoreszirend**.

α) Selbstleuchtend sind: die Sonne, die Fixsterne überhaupt, die Kometen,

die Flamme der Körper beim Verbrennungsprozesse; β) dunkel sind: die Planeten, ihre Monde, unzählige unorganische und organische Körper in ihrem gewöhnlichen Zustande; γ) phosphoreszirend ist in hohem Grade der Phosphor selbst, der bologneser Leuchtstein (Schwerspath mit Eiweiß zu Pasten geformt und ausgeglüht), weniger Marmor, Gyps, Flußspath, Eierschalen, Stärke, Papier, Mehl, manche Insekten und im Wasser lebenden Thiere, (Mollusken, die mit ihren willkührlich oder gereizt aufblitzenden Organen den Meeren in den Tropen, besonders der Südsee, ein wunderbar prachtvolles Aussehen gewähren), durchgeglühte Austeruschalen, faulende Stoffe (Holz, Seethiere). Manche Körper leuchten nach kurzer Bestrahlung durch das Sonnenlicht, besonders wenn sie erwärmt werden. Das Licht phosphoreszirender Körper ist so schwach, daß es meist nur in einem ganz dunklen, lichtlosen Raume von einem Auge wahrnehmbar ist, welches sich einige Zeit in diesem übrigens finsteren Raume befunden hat. Daraus folgt, daß ein bestimmtes Auge nicht unter allen Umständen gleich empfänglich ist für ein bestimmtes Licht; hat es ein starkes Licht, z. B. Sonnenlicht wahrgenommen, so kann es das Vorhandensein eines schwachen (das der Sterne z. B.) nicht zugleich oder bald empfinden, und wir können wohl überhaupt das Auge allein die Frage nicht entscheiden lassen, ob die dunklen Körper absolut lichtlose sind.

Manche Körper lassen das Licht durch, so daß andere Körper durch sie in ihrer ganzen Gestalt und äußeren Beschaffenheit wahrnehmbar sind, sie heißen **durchsichtige**; andere lassen nur durch ihre dünnen Ränder die Spuren der Umrisse anderer Körper erkennen, dies sind die **durchscheinenden**; noch andere gestatten dem Lichte gar keinen Durchgang: **undurchsichtige Körper**. Aber auch hier läßt sich zwischen den Körpern keine scharfe Gränze ziehen und etwa behaupten, daß ein gewisser Körper absolut undurchsichtig sei.

Luft, Wasser, Glas sind in dünneren Schichten durchsichtig, in dickeren nur durchscheinend; die Metalle in dickeren undurchsichtig, in sehr dünnen sogar durchsichtig Die Sonne scheint beim Auf- und Untergange trübe; auf hohen Bergen funkeln die Sterne ganz hell; den Boden unter einem tiefen selbst ganz klaren und ruhigen Wasser kann man nicht mehr sehen. Durch ganz dünnes auf weißes Glas geklebtes Blattgold kann man Gegenstände deutlich erkennen; die weißen erscheinen in einem grünlichen Lichte. Durchsichtige Körper werden durchscheinend, wenn man ihre Oberfläche rauh macht: matt geschliffenes Glas; sogar undurchsichtig, wenn man sie klein zertheilt: zerstoßenes Glas, mit Luft gemengt. Undurchsichtige feste Körper werden durchscheinend und diese mehr oder weniger durchsichtig, wenn man die Rauhigkeiten der Oberfläche durch eine Flüssigkeit auszugleichen sucht: der Hydrophan, geöltes Papier, mit Wasser oder Terpentinöl benetztes matt geschliffenes Glas; Edelsteine, namentlich ungeschliffene, legt man in Sassafrasöl, um zu untersuchen, wie sie im Innern beschaffen sind; die Luft wird um so durchsichtiger, je mehr sie Wasserdünste in Gasform enthält.

b) **Art der Verbreitung des Lichtes in einem bestimmten Mittel und davon abhängige Erscheinungen.**

1) **Lichtstrahlen.** Bringt man in drei hinter einander aufgestellten Scheiben eines undurchsichtigen Körpers drei kleine Öffnungen in einer graden Richtung an, so kann man durch sie eine in derselben Richtung aufgestellte Flamme auf große Entfernung und ringsum sehen; sie verschwindet aber dem Auge, wenn man eine dieser Scheiben mit der Öffnung aus der graden Richtung verschiebt. Daraus ergeben sich folgende Schlüsse:

α) daß das Licht vom leuchtenden Körper aus **gradlinig**, β) daß es rings um ihn in allen Richtungen, wie die Radien einer Kugel, sich fortpflanzt — **Lichtstrahlen**.

Die gradlinige Fortpflanzung des Lichteindruckes findet nur in einem nach Materie und Dichtigkeit überall gleich beschaffenen Mittel statt; befindet sich daher in der Luft z. B. zwischen unserem Auge und einem leuchtenden Punkte in gradliniger Richtung ein undurchsichtiger Körper, so ist der Punkt unsichtbar oder er wird verdeckt, so wie wir umgekehrt schließen, daß Gegenstände z. B. gleich große Kugeln in einer graden Richtung sich befinden, wenn die erste dem Auge zunächst liegende die folgenden deckt. — Aussteckstangen beim Feldmessen; Diopteru; Nivellirwagen.

Verschiedene von einem leuchtenden Punkte ausgehende Lichtstrahlen divergiren zwar stets; in sehr großer Entfernung können aber nahe liegende Strahlentheile, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, als parallel angesehen werden; z. B. die Sonnenstrahlen an der Erdoberfläche. — Daß der Glanz leuchtender Körper mit zunehmender Entfernung abnimmt, bewirkt nur das Mittel, durch welches die Lichtstrahlen gehen.

2) Erleuchtungsgesetz. Da die Lichtstrahlen von dem leuchtenden Punkte wie Kugelradien nach den Flächen der konzentrischen Kugeln, welche man sich um ihn denken kann, gehen und die Kugeloberflächen sich wie die Quadrate der Radien verhalten; so nimmt die Lichtstärke, also auch die Erleuchtungsfähigkeit ab, wie die Quadrate der Entfernung von der Lichtquelle zunehmen.

Dieses Erleuchtungsgesetz findet nur dann statt, wenn die Lichtstrahlen die zu erleuchtende Stelle senkrecht treffen. Zieht man von einem leuchtenden Punkte a (Fig. 167.) den senkrechten Strahl auf ein Quadrat mn nach seinem Mittelpunkte c und nimmt in der Entfernung $ao = 2 . ac$ ein zweites Quadrat pq parallel mit dem ersten an, so ist $pq = 4 . mn$ und von denselben Strahlen erleuchtet wie mn, wenn dieses weggenommen wird.

Wenn eine gewisse Lampe in einer bestimmten Entfernung eine bestimmte Erleuchtung bewirkt, so müßten für die doppelte Entfernung vier solcher Lampen angewendet werden, um dieselbe Erleuchtung zu erhalten.

Treffen aber Strahlen zwischen den Parallelen mn und pq (Fig. 168.) eine Fläche nq unter schiefen Winkeln n (= o, Neigungswinkel), so ist die Erleuchtungsstärke in demselben Maße geringer, in welchem die senkrecht getroffene Fläche rq kleiner ist als nq. Dieses Verhältniß wird durch $\frac{rq}{nq} = \sin o$ angegeben und ist um so kleiner, je schiefer die Ebene getroffen wird.

3) Der optische und wahre Ort. Der Ort auf einem Hintergrunde, namentlich am Horizonte, welchen ein Gegenstand beim Anblicke bedeckt, der also mit dem Auge und Gegenstande in grader Linie liegt, heißt sein optischer Ort. Unser Auge versetzt einen leuchtenden Gegenstand stets an denjenigen Ort, welchen die das Auge unmittelbar treffenden Strahlen bei ihrer Verlängerung treffen. — Dadurch allein bekommen wir noch keinen Aufschluß über die Lage der Stelle (die Entfernung von dem Auge des Beobachters und anderen Gegenständen), welche der Körper im Raume einnimmt oder über den wahren Ort; wir werden im Gegentheile darüber oft getaüscht.

4) Parallaxe. Ein ruhender Gegenstand hat aus verschiedenen nicht mit ihm in grader Richtung liegenden Standpunkten verschiedene optische Örter. Der Winkel nun, welchen die von dem Gegenstande nach ihnen gezogenen Linien bilden oder der Bogen (des Horizontes) zwischen diesen Örtern heißt die Parallaxe.

Die Parallare wächst, wenn die Beobachtungsorte von einander sich entfernen oder wenn sie bei gleicher Entfernung von einander dem Gegenstande sich nähern. Von zwei Gegenständen ist also derjenige der entferntere, welcher bei bestimmter Entfernung der Beobachtungsorte die kleinere Parallare hat und derjenige der größere, welcher bei bestimmter Entfernung die größere Parallare besitzt. — Der optische Ort eines Gestirnes ist der wahre oder der scheinbare, jenachdem dasselbe vom Mittelpunkte oder von einem Punkte der Oberfläche der Erde aus betrachtet angenommen wird. — Tägliche, jährliche, Horizontal- und Höhenparallare. — Bestimmung der Entfernung eines Gestirnes aus dem Erdradius und der Horizontalparallare. — Die jährliche Parallare der nächsten Fixsterne ist kaum 0,5'' und demnach die Entfernung von uns über 10 Billionen Meilen.

5) Die scheinbare und wahre Größe. Die Lichtstrahlen von den beiden äußersten Punkten eines Gegenstandes nach dem Mittelpunkte des Auges bilden den Gesichtswinkel; die von ihm abhängige Ausdehnung des Körpers nennen wir die scheinbare Größe.

Ist der Gesichtswinkel kleiner als 40 Sekunden, oder ist die Entfernung eines Objektes etwa 5000 mal größer als sein Durchmesser, so verschwindet der Gegenstand den meisten Augen. Bei hinreichender Beleuchtung kann der Winkel wohl bis zu 30 Sekunden abnehmen. — Die scheinbare Größe eines Gegenstandes nimmt ab, wenn die Entfernung des letzteren zunimmt. Geschieht hierbei die Bewegung in einer graden Richtung nach dem optischen Orte, so wird auf sie nur aus der Veränderung der scheinbaren Größe geschlossen. Berechnung der Größe eines Gestirns aus der Entfernung und scheinbaren Größe und drgl.

Erfahrungen an Kindern und solchen, die plötzlich sehend geworden. — Zwei ungleich entfernte ungleich große Objekte können dieselbe scheinbare Größe haben: der nahe Finger bedeckt das entfernte Haus.

Die wahre Größe beurtheilen wir 1) aus der scheinbaren, 2) aus der Erleuchtungsstärke und 3) aus der wahren bekannten Größe der übrigen zugleich sichtbaren Gegenstände. Die wahren Größen gleich weit entfernter Gegenstände nehmen zu wie die Tangenten der Sehwinkel.

Taüschungen über die wahre Größe: der Mond z. B. erscheint größer, wenn er auf- oder untergeht, als wenn er höher über dem Horizonte steht, weil wir ihn in jenem Falle wegen der schwächeren Beleuchtung für entfernter halten, als in diesem. Bei der ersten Fahrt auf einer Eisenbahn beurtheilt man wegen seiner eigenen ungewohnten großen Schnelligkeit die Dimensionen der benachbarten äußeren Gegenstände falsch: Menschen, Pferde u. A. erscheinen auffallend klein; die von einem ungewohnten Standpunkte, z. B. einem Turme aus betrachteten Menschen erscheinen auch kleiner, als man nach der Entfernung erwartet. Die Sternbilder unserer nördlichen Halbkugel, z. B. der große und kleine Bär, erscheinen einem Beobachter in der Nähe des Aquators wegen ihres niedrigen Standes über dem Horizonte von wunderbarer Größe.

6) Die scheinbare und wahre Entfernung. Die Entfernung eines Gegenstandes kann man nicht sehen, man schließt bei irdischen Gegenständen auf sie aus der Vergleichung der wahren durch Erfahrung bekannten und der scheinbaren Größe. Die Beleuchtungsstärke ist dabei ebenfalls zu berücksichtigen; schwächer beleuchtete Gegenstände scheinen entfernter zu sein. Die wahren Entfernungen eines Gegenstandes nehmen zu, wie die Tangenten der Sehwinkel abnehmen.

Taüschungen über die wahre Entfernung: die Sterne scheinen uns alle gleich entfernt zu sein; Abplattung der scheinbaren Himmelskugel; scheinbar

größere Entfernung der Himmelskörper am Horizonte, als am Zenithe; auch darin liegt mit der Grund davon, daß Mond und Sonne bei unverändertem Sehwinkel mit der Annäherung an den Horizont sich zu vergrößern scheinen; Taüschungen bei einer Alee, bei einem langen Gange; die Baüme eines Waldes scheinen eine dichte Wand zu bilden, die Ähren eines Kornfeldes eine Fläche u. s. w. Perspektivische Darstellung auf einer Ebene; Panoramen. Optische Anamorphosen oder Zerrbilder.

7) Der Schatten. Den hinter einem undurchsichtigen Körper von dem Lichte nicht getroffenen Raum nennt man Schatten. Denkt man sich einen einzigen leuchtenden Punkt, so ist der Schatten scharf begränzt und nimmt an Ausdehnung mit zunehmender Entfernung vom dunklen Körper zu; ist aber ein leuchtender Gegenstand von einer gewissen Ausdehnung vorhanden, so giebt es zwar hinter dem dunklen Körper einen Raum, der von keinem leuchtenden Punkte Lichtstrahlen empfängt: Kernschatten (Fig. 169. ist es k); an andere benachbarte Stellen dringen zwar von einzelnen Punkten Lichtstrahlen, von anderen aber nicht, dies ist der Halbschatten (h).

Wenn von zwei Kugeln die eine o leuchtend, die andere c dunkel ist, so läßt sich leicht aus ihrer Entfernung und Größe die Lage und Begränzung des Kern- und Halbschattens angeben und umgekehrt. Der kegelförmige Kernschatten der Planeten hat die Spitze von der Sonne abgewendet. Verschiedenartige Mond- und Sonnenfinsternisse (totale, zentrale, partiale, ringförmige). Der von der Sonne dicht bei jedem dunklen Körper erhaltene Schatten ist dicht am Körper scharf begränzt, in größerer Entfernung ist die Gränze kaum zu erkennen.

Je intensiver ein Licht ist, desto dunkler erscheint durch den Kontrast auch der durch einen undurchsichtigen Körper auf einer entgegen gesetzten weißen Wand erzeugte Schatten. Man kann demnach aus der Vergleichung der Schatten, welche durch zwei Lichtquellen und einen bestimmten undurchsichtigen in einer bestimmten Entfernung von der weißen Wand gehaltenen Stab erzeugt werden, auf die Lichtstärke schließen. Statt aber die leuchtenden Körper in gleicher Entfernung von der Wand zu halten und die Schattenstärke zu vergleichen, kann man das stärkere Licht so weit von der Wand entfernen, bis die Schatten gleich stark sind, was leichter zu beurtheilen ist, und dann verhalten sich die Lichtstärken wie die Quadrate der Abstände.

Photometer, Lichtmesser.

8) Dunkle oder auch optische Kammer. Scheinen die Sonnenstrahlen durch eine kleine Öffnung von beliebiger Gestalt in einen dunklen Raum, z. B. durch eine Öffnung an einem Fensterladen in eine verfinsterte Stube, durch die Spalten zwischen den Blättern dicht belaubter Baüme in den Schattenraum des Baumes, so sieht man stets runde Sonnenbilder. Jeder Punkt der Sonne bildet zwar für sich ein kleines Lichtbild von der Gestalt der Öffnung, aber die von den aüßersten Punkten des Sonnenrandes erzeugten Bildchen liegen eben so auf der Peripherie eines Kreises, wie die leuchtenden Punkte selbst, (das des untersten Punktes oben, des obersten dagegen unten u. s. f.). Die Bilder der inneren Punkte der Sonne liegen auch im Innern des erleuchteten Kreises.

Kommen nun Lichtstrahlen von einem beliebigen Körper durch ein kleine Öffnung eines Fensterladens auf die gegenüber stehende Wand eines dunklen

Zimmers (Camera obscura), so erzeugt jeder Punkt desselben sein Bild, so daß ein dem Gegenstande der Lage nach entgegen gesetztes Gesammtbild entsteht. Die Umrisse der Bilder sind aber nicht sehr scharf, weil die von einem Punkte ausgehenden Strahlen sich auf eine um so größere Stelle zerstreuen, je größer die Öffnung ist. Sollen die Bilder der aüßeren Gegenstände (Haüser, Baüme, ganze Landschaften, Menschen in Bewegung und in Ruhe u. s. f.) deutlich sein, so darf die Öffnung weder zu groß noch zu klein und die Wand nicht zu entfernt, die Gegenstände selbst aber müssen recht hell sein.

Veränderlichkeit der Größe des Bildes nach der Entfernung der auffangenden Wand von der Öffnung. Das Bild der Sonne ist trotz einer Öffnung von beliebiger Gestalt um so eher kreisrund, je entfernter die auffangende Wand ist. Übrigens erscheint das Bild der Sonne linear so viel mal verkleinert, als seine Entfernung von der Öffnung in der Entfernung der Sonne von dieser enthalten ist.

9) Geschwindigkeit des Lichtes. Bei der Fortpflanzung des Lichtes ist nun noch die Frage nach seiner Geschwindigkeit übrig. Alle Erfahrungen, welche wir hierüber auf unserer Erde anstellen, lassen uns glauben, daß das Licht zu seiner Fortpflanzung gar keiner Zeit bedürfe, daß es also in dem Augenblicke der Erregung an einem auch noch so entfernten Orte sofort erscheine. Richten wir aber unsere Blicke zu den Leuchten des Himmels! Wir bemerken schon durch mittelmäßige Fernröhre beim Jupiter 4 Monde, welche fast in der Ebene der Erdbahn ihren Planeten umkreisen und dabei in einer graden Linie stehen, die durch den Mittelpunkt des Jupiters geht. Weil dieser sehr groß ist, hat sein Schatten eine bedeutende Ausdehnung, so daß die ihm ziemlich nahen Monde fast bei jedem ihrer schnellen Umlaüfe verfinstert werden; namentlich gilt dieses von dem nächsten. Befindet sich (Fig. 170.) in s die Sonne, ist eabc die Erdbahn, mn ein Theil der Jupiterbahn, odpg die Bahn seines nächsten Mondes, so wird die Entfernung der Erde vom Jupiter und seinen Monden entweder in e (Opposition des Jupiters) oder in b (Conjunction) im Laufe weniger Tage sich nur unbedeutend ändern, indem die Richtung der Bahnen beider Planeten so ziemlich parallel sind; ist aber die Erde um $\frac{1}{4}$ ihrer Bahn weiter gerückt, also in a (oder um $\frac{3}{4}$, also in c), so ändert sich die Entfernung täglich bedeutend, sie nimmt in der Nähe von a täglich um etwa 356000 deutsche Meilen zu, in c um eben so viel ab, indem die Richtung ihrer Bewegung auf der Richtung der Jupiterbahn bei i so ziemlich senkrecht ist. Ist die Erde in a, so sieht man die Jupitermonde auf der Ostseite (links vom Jupiter) aus dem Schatten des Planeten treten; ist die Erde in c, so sieht man die Monde auf der Westseite des Planeten in den Schatten treten. Beobachtet man kurz nach der Opposition zwei unmittelbar auf einander folgende Austritte des nächsten Mondes, so ist die Zwischenzeit von $42^h\ 28'\ 35''$ seine Umlaufszeit. Ist aber die Erde in a oder entfernt sie sich schnell vom Jupiter und seinen Trabanten, so findet man, daß der Austritt um so mehr sich verspätet, je weiter sich die Erde entfernt, daß also das Licht des Jupitermondes uns nicht in dem Augenblicke des Austrittes sichtbar wird, sondern daß es zu seinem vergrößerten Wege bis zu uns auch einer größeren Zeit bedarf. —

In dem Theile bee der Erdbahn von der Conjunction bis zur Opposition beschleunigen sich die Eintritte, weil wir uns dem Jupiter nähern.

Wenn man nun die Zeitdifferenz zwischen dem wirklichen Aus- oder Eintritte nach n Umlaüfen, d. i. n . (42^h 28′ 35″) und der beobachteten Zeit des späteren oder früheren Erscheinens in den Raum dividirt, welchen die Erde während jener Zeit der n Umlaüfe zurücklegt, so bekommt man die Geschwindigkeit des Lichtes zu etwa 42000 Meilen (genauer 41513 deutsche Meilen) für eine Zeitsekunde.

Ist n = 100, so ist die Zeitdifferenz etwa 15 Minuten und die veränderte Erdentfernung gegen 37800000 Meilen.

Das Licht der Sonne bedarf 8′ 13″, um bis auf die Erde zu gelangen. Da der nächste Fixstern von uns wenigstens 200000 mal so weit als die Sonne entfernt ist, so kommt sein Licht erst in 3 Jahren 45 Tagen zu uns. — Die sogenannte Abirrung des Lichtes der Fixsterne ist eine Folge der Bewegung der Erde und der Geschwindigkeit des Lichtes.

II. Von der Zurückwerfung des Lichtes.

(Reflexion, Katoptrik.)

Erscheinung. Läßt man durch eine kleine Öffnung Sonnenstrahlen in ein dunkles Zimmer auf eine polirte oder glatte Fläche oder einen Spiegel fallen, so zeigen sich nach einer gewissen Richtung Lichtstrahlen, welche von der getroffenen Stelle des Spiegels auszugehen scheinen und ein eben solches Sammelbild auf einer undurchsichtigen Wand hervorbringen, als wie wenn die Strahlen dieselbe unmittelbar träfen. Es werden also von einem Spiegel, d. i. von einem Körper, welcher durch zurückgeworfenes Licht Bilder von Gegenständen zeigt, die Lichtstrahlen vorzüglich nach einer gewissen Richtung zurück geworfen: regelmäßig zurück geworfene Strahlen. Da man aber von allen Seiten her die von den Sonnenstrahlen getroffene Stelle des Spiegels erkennt, so werden von ihr auch nach allen übrigen Richtungen Strahlen zurück geworfen: unregelmäßig zurück geworfene Strahlen. Je vollkommener der Spiegel ist, desto weniger giebt es unregelmäßig zurück geworfene Strahlen, desto weniger erkennt man die vom Lichte getroffene Stelle des Spiegels.

A. Regelmäßige Zurückwerfung.

Um über die Lage des zurück geworfenen Strahles gegen den einfallenden Aufschluß zu erhalten, läßt sich folgende Vorrichtung anwenden. Um den Mittelpunkt o (Fig. 171.) eines eingetheilten lothrechten Kreises sei ein Diopternpaar oder ein Fernrohr drehbar und vor ihm sei ein Quecksilberniveau qq aufgestellt. Richtet man nun das eine Mal das Fernrohr aa nach einem bestimmten Sterne s, das andere Mal nach dem von dem Quecksilber zurück geworfenen Bilde x desselben, so findet man, daß der das Quecksilber treffende einfallende Strahl sx || so mit dem Horizonte denselben Winkel macht, wie der zurück geworfene xo, daher müssen diese Strahlen auch mit dem durch den Treffungspunkt auf dem Niveau gezogenen Perpendikel xp, dem Einfallslothe, gleiche Winkel bilden, oder: Einfalls- und Zurückwerfungswinkel sind einander gleich und liegen mit dem Einfallslothe in einer auf der Zurückwerfungsfläche senkrechten Ebene.

Je kleiner der Neigungswinkel des auffallenden Strahles gegen die Fläche ist, desto besser werden die Strahlen zurück geworfen und deßhalb erscheinen auch schlecht polirte und selbst rauhe Flächen glänzend, wenn sie beleuchtet sind. Senkrecht auffallende Strahlen werden in sich selbst zurück geworfen.

a) **Von den ebenen Spiegeln.** Die Spiegelflächen, welche Lichtstrahlen zurück werfen, können eben oder gekrümmt sein. In jedem Falle lassen sich die Erscheinungen aus dem obigen Zurückwerfungsgesetze ableiten. Fällt auf einen ebenen Spiegel mn (Fig. 172.) von einem leuchtenden Punkte a ein senkrechter Strahl ab, so wird er in sich selbst zurück geworfen; der schief auffallende Strahl ac aber so nach cd, daß der Winkel acm = dcn ist. Verlängert man dc über c, bis es die verlängerte ab in α trifft, so ist $\angle$ m$c\alpha$ = dcn = acm und Δ abc $\cong$ Δ αbc, also bα = ba. Ein jeder andere auffallende Strahl z. B. ae wird auch so zurück geworfen, daß die vom Spiegel aus rückwärts vorgenommene Verlängerung in α eintrifft, und ein Auge vor dem Spiegel den leuchtenden Punkt nach α versetzt; es entsteht also von dem Punkte a hinter dem Spiegel ein (geometrisches) Bild α so, daß der Punkt und sein Bild gleichen Abstand vom Spiegel haben.

Parallel, divergent oder konvergent auffallende Strahlen sind eben so nach der Zurückwerfung parallel, divergent oder konvergent.

Ist vor dem Spiegel mn ein ganzer Gegenstand ab (Fig. 173.), so findet man die Lage des Bildes eines jeden Punktes von ihm, wenn man die Perpendikel von ihnen auf den Spiegel um sich selbst verlängert; demnach ist das eben so große Bild $\alpha\beta$ eines mit dem Spiegel parallelen Gegenstandes ihm auch parallel, eines senkrecht stehenden vor einem horizontalen ist umgekehrt, eines horizontal liegenden vor einem unter 45° geneigten Spiegel aber senkrecht u. s. w. und dabei stets von derselben Größe.

Um sich in einem Spiegel ganz wahrzunehmen, braucht der Spiegel nur halb so hoch und breit zu sein, als der vor und mit ihm parallel stehende Mensch; Bild und Gegenstand sind in Beziehung auf den Spiegel symmetrisch und von gleicher Gestalt und Größe. Durch einen Planspiegel wird ein bestimmter Punkt eines Gegenstandes nur dann gesehen, wenn die von dem Bilde des Punktes nach dem Auge gezogene grade Linie die Spiegelfläche trifft. Entfernt sich der Spiegel von dem ruhenden Gegenstande, so legt das Bild den doppelten Weg zurück. — Fällt auf einen Spiegel ein Lichtstrahl unter irgend einem Winkel und dreht man den Spiegel um den Winkel a, so dreht sich der reflektirte Strahl um 2a. Anwendung zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektrizität.

Stehen zwei Spiegel einander parallel gegenüber, so ist das in jedem erzeugte Bild eines dazwischen befindlichen Objektes wieder ein Objekt für den anderen Spiegel u. s. f., so daß eine sehr große, theoretisch eine unendliche Anzahl von Bildern entsteht. Daß die entfernteren immer undeutlicher werden ist aus dem früheren klar.

Bei einem Glasspiegel mit Amalgam entstehen zwei Bilder, die um die doppelte Dicke des Glases von einander abstehen, das schwächere ist erzeugt durch die vordere Glasfläche, das andere von der hinteren Belegung. Ein Metallspiegel giebt nur ein Bild, welches deßhalb auch deutlicher sein kann.

Bilden zwei ebene Spiegel einen Winkel w, der bei der Division in 4R als Quotient die ganze Zahl q und den Rest r ergiebt und ist a und

$w - a$ die Entfernung des Gegenstandes von beiden Spiegeln, gemessen nach Bogengraden, so ergeben sich für die Anzahl der Bilder (ausschließlich des Gegenstandes) folgende Sätze:

1) Ist $r \leqq a$ und $w - a \geqq r$, so ist die Bilderzahl $= 2q$,

2) „ $r > a$ „ $w - a \geqq r$, „ „ „ „ $= 2q + 1$,

3) „ $r \leqq a$ „ $w - a < r$, „ „ „ „ $= 2q + 1$,

4) „ $r > a$ „ $w - a < r$, „ „ „ „ $= 2q + 2$.

Das Kaleidoskop (mit Winkeln von 45°, 36°, 30°). Das Polemoskop, Operngucker, Zauberperspektiv (Mittel durch ein Brett zu sehen.) Der Guck- oder Spiegelkasten. Der Heliostat. Spiegelsextant. Wollastons Goniometer.

b) Von den gekrümmten Spiegeln. Unter den gekrümmten Spiegeln sind zunächst die Kugelspiegel, deren Fläche die einer Kugel ist, zu erwähnen. Bei ihnen kann entweder die innere Fläche eines Segmentes einer Hohlkugel, oder die äußere Fläche einer Kugel die spiegelnde sein: Konkav- und Konvexspiegel. In beiden Fällen heißt die vom Mittelpunkte der Kugel, dem Krümmungsmittelpunkte (geometrischen Mittelpunkte) nach dem mittelsten Punkte (optischer Mittelpunkt) der Spiegelfläche, welche eine Kugelkappe ist, gezogene grade Linie die Axe des Spiegels. Der Winkel, welchen die beiden mit der Axe in einer Ebene liegenden und nach der Gränze des Spiegels gezogenen Radien bilden, heißt die Öffnung des Spiegels und der durch den Krümmungsmittelpunkt gehende Strahl heißt der Hauptstrahl. Das Einfallsloth für irgend einen Strahl ist stets der nach dem Treffungspunkte gezogene Kugelradius, welcher auf der durch diesen Punkt gelegten Berührungsebene senkrecht steht.

α) Sphärische Hohlspiegel. Die auf einen Hohlspiegel fallenden Strahlen können entweder unter einander und dabei auch mit der Axe parallel sein, oder sie können divergent oder konvergent sein.

1) Parallel mit der Axe auffallende Strahlen. Der Axenstrahl wird offenbar in sich selbst zurück geworfen; irgend ein anderer Strahl an (Fig. 174.) in der Richtung ne so, daß $\angle$ anc $=$ cne ist; weil aber wegen an $\|$ co der $\angle$ anc $=$ nce, so ist auch $\angle$ cne $=$ nce und ce $=$ ne; und für eine geringe Öffnung des Spiegels ohne einen merklichen Fehler zu begehen ne $=$ eo, mithin auch ce $=$ eo; d. h. die mit der Axe des Spiegels und in ihrer Nähe parallel auffallenden Strahlen werden so konvergent zurück geworfen, daß sie den Krümmungsradius im Halbirungspunkte treffen und dort ein Bild des leuchtenden Punktes, der selbst in außerordentlich großer Entfernung liegt, hervorbringen. Dieser Punkt heißt der Hauptbrennpunkt, weil dort die zurück geworfenen Sonnenstrahlen einen leicht brennbaren Körper anzünden und seine Entfernung vom Spiegel heißt die Brennweite.

Daß dieser Brennpunkt bei einer geringen Öffnung des Spiegels in der Mitte zwischen dem Spiegel und dem Krümmungsmittelpunkte liegt, läßt sich auch so beweisen. In $\triangle$ cen steht cn : ce $=$ sin cen : sin cne, also ce $=$ cn $\frac{\sin cne}{\sin cen}$ $=$ co $\frac{\sin cne}{\sin 2cne}$ (indem cen $= 180° - 2$cne ist). Ist nun cne $= 1°$, so ist ce $=$

co . 0,50006; ist cne = 2°, so ist ce = co . 0,5003 u. s. f. bis zu einer Spiegelöffnung von 8 bis 10° ist ce fast = $\frac{1}{2}$ co. Nur Strahlen in dieser Gränze, zentrale Strahlen, sind für schärfere Bilder brauchbar.

Sind parallel auffallende Strahlen nicht zugleich mit der Axe parallel, so liegt das Bild zwar seitwärts von der Axe, aber immer um den halben Krümmungs-Radius vom Spiegel entfernt.

2) Divergent auf den Spiegel fallende Strahlen.

aa) Aus dem vorhergehenden Falle folgt unmittelbar: Ist der leuchtende Punkt im Hauptbrennpunkte, so müssen die Strahlen nach der Zurückwerfung mit der Axe des Spiegels parallel sein. Liegt der leuchtende Punkt nicht im Brennpunkte, so kann er sich in oder außer der Axe befinden.

bb) Liegt der leuchtende Punkt in der Axe zwischen dem Brennpunkte und dem Spiegel, wie z. B. r (Fig. 175.), so bilden die einfallenden Strahlen wie rn mit dem Einfallslothe cn einen größeren Winkel, als im vorigen Falle ($\angle$ rnc > enc), also muß auch der zurück geworfene Strahl mit ihm einen größeren Winkel bilden, als die zur Axe parallele an ($\angle$ bnc > anc), oder die Strahlen divergiren nach der Zurückwerfung und ihre Verlängerungen sammeln sich hinter dem Spiegel zu einem dem Spiegel um so näheren Bilde ρ, je näher der leuchtende Punkt ihm liegt.

cc) Liegt der leuchtende Punkt zwischen dem Brennpunkte und Krümmungsmittelpunkte, so bilden die auffallenden Strahlen, wie z. B. rn (Fig. 176.) mit ihren Einfallslothen kleinere Winkel, als im Falle aa) ($\angle$ rnc < enc), also müssen auch die zurück geworfenen Strahlen mit ihnen kleinere Winkel bilden, als die zur Axe parallelen z. B. na ($\angle$ anρ < anc) oder die Strahlen konvergiren nach der Zurückwerfung so, daß sie einander in einem Punkte der Axe in um so größerer Entfernung vom Krümmungsmittelpunkte schneiden, je näher der leuchtende Punkt dem Brennpunkte liegt.

dd) Ist der leuchtende Punkt in größerer Entfernung vom Spiegel, als der Krümmungsmittelpunkt, so sammeln sich die zurück geworfenen Strahlen zu einem Bilde zwischen dem Krümmungsmittelpunkte und Brennpunkte, was sich aus dem Falle cc ergiebt, wobei ρn der auffallende, rn der zurück geworfene Strahl ist und alle übrigen von ρ ausgehenden und in gleicher Entfernung mit ρn von der Axe rings um den Spiegel treffenden Strahlen werden nach der Zurückwerfung die Axe in demselben Punkte r schneiden.

ee) Liegt endlich der leuchtende Punkt nicht in der Axe, so ist auch sein Bild außerhalb derselben; seine Entfernungen vom Spiegel entsprechen den obigen Fällen.

1) Ist z. B. a (Fig. 177.) ein leuchtender Punkt in weiterer Entfernung, als der Krümmungsmittelpunkt, so wird der Hauptstrahl ar in sich selbst, der mit der Axe parallele Strahl an nach dem Brennpunkte e zurück geworfen und es wird in dem Durchschnittspunkte α von ar und ne das Bild von a entstehen. Die Bilder aller Punkte zwischen b und a liegen zwischen β und α, so daß $\beta\alpha$ ein verkehrtes Bild von ba ist, welches man auf einer matt geschliffenen schmalen Glasscheibe oder einem Strei-

fen feinen Papieres auffangen und von allen Seiten wahrnehmen kann. **Physisches Bild.**

2) Ist aber ein Punkt a (Fig. 178.) in geringerer Entfernung, als die Brennweite, so entsteht sein grades mathematisches Bild hinter dem Spiegel und auf derselben Seite der Axe.

Aus dem Obigen ergeben sich überhaupt in Betreff der Bilder bei hohlen Kugelspiegeln folgende Gesetze:

1) Von einem sehr entfernten Gegenstande entsteht in der Nähe des Brennpunktes nach dem Krümmungsmittelpunkte zu ein verkehrtes kleineres Bild.

2) Rückt der Gegenstand dem Krümmungsmittelpunkte näher, so nähert sich ihm auch sein Bild, indem es sich vergrößert und verkehrt bleibt.

3) Ist der Gegenstand im Krümmungsmittelpunkte, so fällt sein Bild mit ihm zusammen.

4) Nähert sich der Gegenstand zwischen dem Krümmungsmittel- und Brennpunkte dem Spiegel, so fällt sein sich vergrößerndes umgekehrtes Bild außerhalb des Krümmungsmittelpunktes.

5) Ist der Gegenstand im Brennpunkte, so verschwindet das Bild.

6) Nähert sich der Gegenstand vom Brennpunkte aus dem Spiegel, so nähert sich das aufrechte, grade und vergrößerte Bild jenseits des Spiegels demselben, indem es immer kleiner wird, bis es am Spiegel mit dem Gegenstande gleiche Größe hat.

Nur im letzten Falle entsteht ein mathematisches Bild, in den anderen ein physisches. — Wie unterscheidet sich ein mathematisches Bild von einem physischen? — Befindet sich das Auge in der von dem Vereinigungspunkte wieder divergent ausgehenden Strahlen, so erblickt es an der Vereinigungsstelle in der Luft ein Bild, welches deßhalb ein **Luftbild** heißt. — Zauberspiegel.

Man kann diese Hohlspiegel als Brennspiegel (Brennraum; ein Spiegel von 4' Durchmesser und 6' Brennweite erzeugt eine gegen 200 mal größere Hitze, als die einfachen Sonnenstrahlen), oder als Erleuchtungsspiegel benutzen. Kleine angemessen zusammen gesetzte Planspiegel bewirken fast dasselbe. — Archimedes.

Hohlspiegel befördern die Konvergenz der Strahlen: denn parallel auffallende werden konvergent; divergent auffallende weniger divergent oder auch parallel oder selbst konvergent und konvergente werden noch mehr konvergent.

β) **Sphärische Konvexspiegel.**

1) **Parallel mit der Axe auffallende Strahlen.** Der Axenstrahl ao (Fig. 179.) wird in sich selbst zurückgeworfen; ein mit der Axe paralleler bn aber so nach der Richtung nr, daß bn und rn mit dem verlängerten Einfallslothe cn gleiche Winkel bilden und der von n an verlängerte zurückgeworfene Strahl den auch rückwärts verlängerten Axenstrahl fast im Halbirungspunkte e des Krümmungsradius schneidet. **Alle mit der Axe in ihrer Nähe parallel auffallende Strahlen werden so divergent zurückgeworfen, daß ihre rückwärts vorgenommenen Verlängerungen den Krümmungsradius im Halbirungspunkte (negativen Brennpunkte) treffen.**

2) **Divergent auffallende Strahlen.**

aa) Ein divergent von irgend einem Punkte in der Axe vor dem Spiegel ausgehender Strahl an (Fig. 180.) bildet mit dem verlängerten Einfallslothe cn einen größeren Winkel anx, als der parallele Strahl bn

(anx > bnx), also muß auch der zurückgeworfene Strahl nr einen größeren Winkel mit ihm bilden und die Verlängerung nα den Krümmungsradius in einem dem Spiegel näheren Punkte α schneiden, als im vorigen Falle. Alle divergent von einem Punkte der Axe ausgehenden Strahlen werden so divergent zurückgeworfen, daß die rückwärts vorgenommenen Verlängerungen den Krümmungsradius zwischen dem Spiegel und negativen Brennpunkte in um so größerer Nähe des Spiegels treffen, je mehr die Strahlen divergiren oder je näher der leuchtende Punkt dem Spiegel liegt.

bb) Wenn ein leuchtender Punkt außerhalb der Axe liegt, so wird der Hauptstrahl br (Fig. 181.) in sich selbst zurück geworfen, der mit der Axe parallele bn so, daß seine Verlängerung rückwärts durch den negativen Brennpunkt e geht, aber die Verlängerung rc des Hauptstrahles in einem mit b auf derselben Seite der Axe liegenden Punkte β trifft; β ist also das mathematische Bild des Punktes b. Die Bilder aller Punkte zwischen b und a liegen zwischen β und α, so daß also $\alpha\beta$ ein verkleinertes mathematisches Bild von ab ist.

In Betreff der Bilder bei erhabenen Kugelspiegeln ergiebt sich also:

1) daß von sehr entfernten Gegenständen sehr verkleinerte, aufrechte Bilder in der Nähe des negativen Brennpunktes entstehen.

2) Nähert sich der Gegenstand der Spiegelfläche, so geschieht dies auch mit dem Bilde, wobei es größer wird, und ist der Gegenstand dicht am Spiegel, so ist dies auch mit dem Bilde der Fall.

In allen Fällen sind die Bilder mathematisch und verkleinert. Die Konvex-Spiegel zerstreuen die Strahlen: parallel auffallende werden divergent, divergente noch mehr divergent; konvergente weniger konvergent oder parallel, ja selbst divergent. — Man sieht in dem Auge eines anderen sein verkleinertes Bild; in den Tropfen von Flüssigkeiten, blanken Knöpfen u. dergl. bilden sich Gegenstände ab; hohle inwendig geschwärzte Glaskugeln zur Darstellung von ganzen Landschaften.

γ) Zylinder-, Kugel-, Ellypsen- und Parabelspiegel.

a) In der spiegelnden Seitenfläche eines Zylinders haben die Bilder in der Richtung der Axe oder der Seitenlinien die natürliche Ausdehnung, in der auf letzteren senkrechten aber erleiden sie eine Verkürzung wie bei den erhabenen Kugelspiegeln.

b) Bei der spiegelnden Seitenfläche eines Kegels findet in der Lage der Seitenlinie keine Verkürzung statt, aber senkrecht auf ihnen nimmt sie nach der Spitze des Kegels zu.

c) Ist die innere Fläche eines ellyptisch ausgehöhlten Körpers polirt, so werden die von dem einen Brennpunkte ausgehenden Strahlen so zurück geworfen, daß sie sich in dem anderen sammeln. Ist der Spiegel parabolisch oder hyperbolisch, so werden parallel auffallende Strahlen noch besser in einen Punkt zurück geworfen und von diesem Punkte ausgehende Strahlen sind nach der Zurückwerfung parallel.

Katoptrische Zerrbilder oder Anamorphosen für Zylinder-, Kegel- und Pyramidenspiegel; Reverberen zur Erleuchtung auf Straßen oder auf dem Meere. — Die von hohlen krummen Flächen zurückgeworfenen Strahlen können auch eine Brennlinie bilden, wenn die Vereinigung aller nicht in einem

Punkte geschieht, sondern wenn nur benachbarte sich vereinigen: Brennlinie, Brennfläche — kaustische Linie und Fläche.

c) **Allgemeines Gesetz bei Kugelspiegeln.** Die katoptrischen Gesetze von den Kugelspiegeln lassen sich auf eine bestimmte Formel zurück führen, worin die Entfernung des Gegenstandes und seines Bildes vom Spiegel zur Brennweite in einer bestimmten Beziehung stehen. Wenn nämlich in Fig. 176 a der Abstand eines leuchtenden Punktes ρ vom Spiegel (ρo), α die Entfernung seines Bildes r vom Spiegel (ro), b die Brennweite (eo = ec); so muß, weil ρnc = rnc ist, stehen

$\rho n : rn = \rho c : rc$. Ist die Weite des Spiegels nur geringe oder no klein, so kann, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, $\rho n = \rho o$ und $rn = ro$ angenommen werden und es ist also auch

$a : \alpha = (a - 2b) : (2b - \alpha)$, woraus

$a\alpha = \alpha b + ab$ und durch Division mit $ab\alpha$

$\frac{1}{b} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ folgt; d. h.: der umgekehrte Werth der Brennweite ist gleich der Summe aus den umgekehrten Werthen der Entfernungen des leuchtenden Punktes und seines Bildes oder $b = \frac{a\alpha}{a+\alpha}$ und $\alpha = \frac{ab}{a-b}$. Die Entfernung des Bildes vom Spiegel läßt sich demnach aus der Brennweite und der Entfernung des Gegenstandes finden. Ist z. B.

$a = b$, so ist $\alpha = \infty$; ist $a = \infty$, so ist $\alpha = b$; ist $a = < b$, so ist α negativ, oder das Bild fällt hinter den Spiegel; ist b negativ, so geht die Formel in

$-\frac{1}{b} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ über und gilt für erhabene Spiegel. Dieselben Formeln gelten auch dann, wenn der leuchtende Punkt nicht in der Axe liegt, aber a, α, b sind dann auf den Hauptstrahl zu beziehen.

B. Unregelmäßige Zurückwerfung.

Spiegel sind nie so vollkommen, daß sie sämmtliche auffallende Strahlen nach den obigen Gesetzen zurück werfen; es finden sich nämlich bei allen Spiegeln größere oder geringere Erhabenheiten oder Vertiefungen. Denken wir uns eine Erhabenheit e (Fig. 182) halbkugelförmig, so wird ein Strahl ca nach α, ein anderer cb nach β, alle übrigen zwischen a und b auffallenden nach allen Richtungen zwischen aα und bβ zurück geworfen, so daß dadurch diese Erhabenheit nach allen Richtungen sichtbar sein und sich wie ein selbst leuchtender Gegenstand verhalten wird. Ähnliches gilt auch von Vertiefungen. **Alle dunklen Körper werden nur durch das von ihnen unregelmäßig zurück geworfene oder zerstreute Licht nach allen Richtungen sichtbar.**

Ohne die unregelmäßige Zurückwerfung würden selbst am Tage alle dunklen Gegenstände unsichtbar sein, namentlich die, auf welche die Sonne nicht unmittelbar ihre Strahlen sendet; hinter jedem vor die Sonne gehaltenen Gegenstande würden alle übrigen Gegenstände vollkommen unsichtbar sein. **Tageshelle.** — Die Sonne würde erst bei ihrem Erscheinen über dem Horizonte die finstre Nacht plötzlich in den hellsten Tag verwandeln, und abends umgekehrt, wenn nicht die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre mannigfach zurück geworfen würden. Diese Zurückwerfung beginnt schon,

wenn die Sonne noch 18° unter unserem Horizonte steht (Morgendämmerung) und dauert abends noch fort, bis die Sonne fast eben so tief unter dem Horizonte ist (Abenddämmerung).

Die Schicht der Atmosphäre, welche grade noch Sonnenstrahlen zurück zu werfen im Stande ist, hat von der Erdoberfläche eine Entfernung von etwa 7 geogr. M. Da in unseren Breiten von etwa 50° die Sonne im Sommersolstizium selbst um Mitternacht nur 16½° unter dem Horizonte sich befindet, so hört die Dämmerung die ganze Nacht nicht auf. Je weiter ein Ort nach den Polen liegt, desto länger dauern die Dämmerungen und je mehr nach dem Äquator, desto kürzer; in jenem Falle erhebt sich die Sonne unter einem sehr kleinen Winkel über den Horizont, in diesem wirklich oder fast unter einem rechten; dazu kommt, daß in den Tropengegenden der Himmel meist rein und wolkenleer ist, daß aber in größeren Breiten die in hohen Schichten der Atmosphäre fast stets schwebenden Nebel die Sonnenstrahlen schon dann auf uns werfen, selbst wenn die Sonne noch unter dem Horizonte ist.

III. Von der Brechung des Lichtes.
(Refraction, Dioptrik.)

a) Erscheinung. Kommen von einem graden Stabe, welcher sich vollständig in einem einzigen Mittel (Wasser oder Luft z. B.) befindet, Lichtstrahlen in unser Auge, so erscheint er uns auch als grade; hält man aber den Stab so, daß der eine Theil in einem anderen Mittel sich befindet, als der andere (in Luft und in Wasser), so erscheint er an der Trennungsfläche (zwischen Wasser und Luft) gebrochen; also müssen die Lichtstrahlen von der Trennungsfläche an für die beiden Theile des Stabes eine verschiedene Lage haben, für jedes der beiden Mittel aber eine bestimmte oder was dasselbe ist: die Lichtstrahlen erleiden beim Übergange aus einem Mittel in ein anderes eine Ablenkung (weil ziemlich plötzlich: Brechung) von ihrer Richtung.

Diese Thatsache wird durch alle auf gleicher Grundlage beruhenden Erfahrungen bestätigt. Legt man z. B. in ein leeres Gefäß mit undurchsichtigen Wänden ein Geldstück und tritt so weit zurück, daß der Rand des Gefäßes eben die Münze bedeckt, so wird dieselbe bei unveränderter Lage des Auges und Gefäßes wieder sichtbar, wenn man in letzteres Wasser gießt; es scheint, als ob die Münze sammt dem Boden des Gefäßes sich gehoben hätten. Ruhige durchsichtige Gewässer scheinen beim Anblicke von oben seichter zu sein, als es wirklich der Fall ist und die Gegenstände darin erscheinen größer. Bei bewegter Oberfläche scheinen die Gegenstände unter dem Wasser auch hin und her zu schwanken. Vorsicht beim Fisch-Stechen und Schießen. — Macht man drei Punkte auf Papier in einer graden Richtung, bedeckt den einen mit einer etwas dickeren Glasscheibe und hält das Auge schief seitwärts, so ist der bedeckte Punkt aus der graden Richtung mit jenen beiden gerückt; hält man das Auge senkrecht über dem Glase mit dem Punkte in grader Richtung, so verändert er seine Lage nicht. Läßt man von der undurchsichtigen Seitenwand eines leeren Gefäßes den Schatten auf den Boden fallen, so erscheint dieser verkürzt, wenn man Wasser in das Gefäß gießt.

b) Brechungsgesetze. Es entstehen nun zunächst folgende Fragen: ist die Brechung der Lichtstrahlen beim Übergange aus einem bestimmten Mittel in ein anderes bestimmtes auch eine bestimmte? Ist sie für verschiedene Mittel verschieden und welche? und welchen Einfluß hat die Dichtigkeit eines Mittels?

1) Stellt man einen eingetheilten Kreis (Fig. 183) bis an seinen Mittelpunkt o senkrecht in Wasser und läßt durch eine feine Öffnung des

Fensterladens ein kleines Bündel von Sonnenstrahlen in der Ebene des Kreises auf die Stelle des Wassers fallen, wo der Mittelpunkt des Kreises liegt, z. B. in der Richtung ao oder unter dem **Einfallswinkel** aoc; so gehen die Strahlen nicht in der Verlängerung der ao fort, sondern **nähern** sich dem verlängerten Einfallslothe co, so daß ihre Richtung $o\alpha$ im Wasser mit ihm einen kleineren **Brechungswinkel** αox bildet. Ist $aoc = e = 25^0$, so ist $\alpha ox = b = 11^0\ 15'$; ist $e = 30^0$, so ist $b = 22^0$; ist $e = 60^0$, so ist $b = 40^0\ 30'$ u. s. f. Die von a und α auf den Durchmesser cx, der auf der Trennungsfläche im Einfallspunkte senkrecht steht, gefällten Perpendikel am und αu, also auch $\frac{am}{ao}$ und $\frac{\alpha u}{\alpha o} = \frac{\alpha u}{ao}$, d. h. sin e und sin b haben für unseren Fall, d. h. für jeden Einfalls- und den zugehörigen Brechungswinkel, stets das Verhältniß von 4 : 3.

Ginge von einem Punkte α im Wasser ein Lichtstrahl nach o, so würde er in der Luft **vom** Einfallslothe oc weg, etwa nach oa gebrochen. Jetzt ist αox der Einfalls- und aoc der Brechungswinkel und $\sin \alpha ox : \sin aoc = 3 : 4$. Im vorigen Falle wurde der Strahl **zum** Einfallslothe hin gebrochen.

$\frac{\sin e}{\sin b} = n$ heißt der **Brechungsexponent**. Da $\frac{\sin e}{\sin b} = \frac{\cos (90^0 - e)}{\cos (90^0 - b)}$ ist, so kann man auch sagen: der Brechungsexponent ist der Kosinus der Neigung des verlängerten einfallenden Strahles gegen die Trennungsfläche, getheilt durch den Kosinus der Neigung des gebrochenen Strahles zu dieser Fläche. Der Brechungsexponent des Lichtes für den Übergang aus Luft in Wasser ist also $\frac{4}{3}$, aus Wasser in Luft $\frac{3}{4}$. Zieht man den Brechungswinkel vom Einfallswinkel ab, so bekommt man die **Ablenkung** des einfallenden Strahles. Die Ablenkung wächst in rascherem Verhältnisse, als der Brechungswinkel.

Läßt man den Lichtstrahl auf die obere Fläche eines horizontal gelegten Glaswürfels oder einer Glasplatte fallen, so zeigt der gebrochene Strahl bei demselben Einfallswinkel eine noch größere Annäherung an das Einfallsloth; aber wie groß jener auch sein möge, stets ist der Brechungsexponent für den Übergang des Lichtes aus der atmosphärischen Luft in Glas $\frac{3}{2}$. Aus diesen Betrachtungen, welche beliebige Mittel betreffen können, ergiebt sich nun:

α) **Die Ebenen des Einfalls- und Brechungswinkels fallen in eine Ebene**, die Brechungsebene, welche auf der Scheidungsfläche senkrecht steht.

β) **Für zwei bestimmte Mittel hat der Brechungsexponent eine beständige Größe.**

γ) **Die Brechung ist für verschiedene Mittel verschieden.**

Kennt man für zwei Mittel die Brechungsexponenten, so läßt sich die Richtung des gebrochenen Strahles durch Zeichnung bestimmen. Ist ww (Fig. 183) die Trennungsfläche zwischen Luft und Wasser, oa ein Lichtstrahl, oc sein Einfallsloth, so beschreibe man um o einen Kreis, fälle von a den Perpendikel am auf oc, verlängere am um $\frac{3}{4}$ (so daß $ms = \frac{3}{4}$ am wird), ziehe $s\alpha \parallel oc$, fälle von α die αu senkrecht auf ox, so ist $\alpha u \doteq ms$ und $o\alpha$ die Richtung des Strahles im Wasser.

Wenn Strahlen auf eine brechende Ebene a) parallel auffallen, so bleiben sie auch nach der Brechung parallel, b) wenn divergent, so werden sie in einem stärker brechenden Mittel weniger, in einem schwächer brechenden mehr divergent.

2) Wird im obigen Versuche das Wasser erwärmt, so vergrößert sich der Brechungswinkel oder die Lichtstrahlen werden weniger von ihrem ursprünglichen Wege abgelenkt. **Bei einem bestimmten Mittel nimmt die brechende Kraft mit seiner Dichtigkeit zu.**

Wasserstoffgas besitzt eine sehr stark brechende Kraft; überhaupt wächst bei brennbaren Körpern (ätherischen Ölen, Weingeist, Äther, Schwefelkohlenstoff) die Brechbarkeit in einem weit stärkeren Verhältnisse, als die Dichtigkeit. Da der Diamant sehr stark bricht, so hielt man ihn schon eher für verbrennlich, als es gelang, ihn zu verbrennen. Da das Brechungsvermögen eines Stoffes von seiner chemischen Beschaffenheit abhängt, so ist dasselbe zur quantitativen Bestimmung der Bestandtheile brauchbar.

c) **Die astronomische und irdische Strahlenbrechung.** Da die Atmosphäre nach der Erde zu dichter wird, so können die in sie tretenden Strahlen der Sonne oder eines anderen Gestirnes keine grade Linie zurück legen, sondern müssen sich immer mehr und mehr dem verlängerten Einfallslothe nähern. Es sei (Fig. 184) e der Mittelpunkt der Erde, hr der wahre Horizont, p ein Ort der Erdoberfläche, dessen scheinbarer Horizont h′r′ mit dem wahren als zusammen fallend betrachtet werden kann; ist nun s (oder s′, was bei der im Verhältnisse zum Erdradius außerordentlich großen Entfernung dasselbe ist) die Sonne, so wird der bei a in die Erdatmosphäre tretende Strahl nicht in grader Richtung nach α fortgehen, sondern zu dem Einfallslothe ae gebrochen und weil die tieferen Luftschichten allmählig dichter werden, um so mehr gebrochen, je näher er der Erde kommt. Der Weg des Lichtstrahles in der Atmosphäre ist also eine nach der Erde zu immer stärker gekrümmte Linie, so daß ein Auge in p die Sonne in der Richtung der Tangente ps″ dieses Punktes, also an einen höheren Ort versetzt, als sie wirklich ist. Diese Erscheinung heißt die **astronomische Strahlenbrechung, Refraction.** Sie beträgt für ein Gestirn am Horizonte über ½ Grad (Sonnen- oder Mondburchmesser ungefähr); für eine größere Erhebung des Gestirnes ist sie geringer (bei 45° kaum 1 M.); ist es im Zenith, so beträgt sie Null.

Durch diese Strahlenbrechung in der Atmosphäre wird der Tag verlängert (der längste bei uns um 8, 5 M.), was in nördlichen Breiten bei der Kleinheit des Winkels, unter welchem die Sonne über den Horizont steigt und wieder unter ihm verschwindet, um mehre Wochen geschieht. — Auch kann wegen der Refraktion noch eine Mondfinsterniß eintreten, wenn die Sonne bereits über dem Horizonte steht. — Daß zur Beurtheilung der Größe der Refraktion noch der Barometer-, Thermometer- und Hygrometerstand erforderlich ist, bedarf kaum der Erwähnung.

Weil die Atmosphäre in steter Bewegung ist, erscheint das Licht der Gestirne, namentlich der unter einem kleinen Gesichtswinkel sich zeigenden Fixsterne, auch sehr unruhig; man sagt **die Sterne funkeln**; bei den unter einem größeren Sehwinkel sichtbaren Gestirnen (Planeten) ist diese Erscheinung nur an ihren Rändern wahrnehmbar. — Sieht man dicht über ein von der Sonne lebhaft beleuchtetes Feld, so zittern die Halme und anderen Gegenstände. Ebenso bei der Luft über einem glühenden Eisen u. dergl.

Die atmosphärische Strahlenbrechung zeigt sich auch an **irdischen** Gegenständen. Wegen der Krümmung des Meeresspiegels können, namentlich bei einem niedrigen Standpunkte des Beobachters, sehr entfernte Gegenstände, z. B. Schiffe, jenseitige Gestade, nicht wahrgenommen werden. Ist aber bei höherer Lufttemperatur die Dunstsättigung bedeutend,

dabei die Luft klar, der Barometerstand hoch, so erscheinen sie theilweise oder ganz und selbst nähere Gegenstände verändern scheinbar ihre Form, z. B. Berge werden niedriger, weil der untere Theil mehr gehoben wird, als der obere. Von der Küste Kalabriens aus (Reggio) erblickt man auf diese Weise die Stadt Messina mit ihrer Umgebung in bunter Beweglichkeit (Fata Morgana); von England aus (Hastings) die französische Küste bisweilen.

Wenn e die Entfernung eines Beobachters von einem irdischen Gegenstande, b seine Strahlenbrechung und w der Winkel ist, welchen die vom Beobachter und dem Gegenstande nach dem Mittelpunkt der Erde gezogenen graden Linien bilden; so ist $b = 0{,}08.\ w$ und für

$e = 1000'$ ist $w = 10''$, $b = 0{,}8''$
$e = \frac{1}{4}$ Meile „ $w = 1'$, $b = 4{,}8''$
$e = 1$ „ „ $w = 4'$, $b = 19{,}2''$
$e = 15$ „ „ $w = 1^{0\prime}$ $b = 4{,}8'$ u. s. w. Bei der Bestimmung des Höhenwinkels (Erhebung über den Horizont) eines entfernten irdischen oder überirdischen Gegenstandes muß also auf die Strahlenbrechung Rücksicht genommen werden

d) Gänzliche Zurückwerfung, (totale Reflexion). Kennt man für zwei Mittel den Brechungsexponenten ($n = \frac{\sin e}{\sin b}$), so läßt sich weiter untersuchen, ob nicht für bestimmte Gränzwerthe des Einfallswinkels e der Brechungswinkel b einen größten und kleinsten Werth erlangt.

Ist $e = o$, oder fällt der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe zusammen, so ist auch $b = o$, oder der Strahl setzt ohne Ablenkung seinen Weg im anderen Mittel fort. — Ist e bis zu 90^0 angewachsen, also $\sin e = \sin 90^0 = 1$, so ist $n = \frac{1}{\sin b}$ oder $\sin b = \frac{1}{n}$ und der sich aus n ergebende Werth für b ist sein Maximum oder der Gränzwerth, den er überhaupt erreichen kann.

Für den Übergang des Strahles aus Luft in Wasser ist $n = \frac{4}{3}$ und $\frac{1}{n} = \frac{3}{4} = 0{,}75 = \sin 48^0\ 35'$. Trifft ein Strahl den Wasserspiegel fast parallel, so bildet der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe einen Winkel von fast $48^0\ 35'$; für die übrigen Strahlen bis zum Einfallslothe ist der Winkel kleiner. Wenn nun umgekehrt der Lichtstrahl aus Wasser in Luft geht, so wird der das Einfallsloth unter $48^0\ 35'$ treffende Strahl nach der Brechung in der Luft mit dem Wasserspiegel parallel fortgehen und wäre der Einfallswinkel größer als der Gränzwinkel (oder der Neigungswinkel des Strahles zur Trennungsfläche kleiner als $41^0\ 25'$), so würde der Strahl gar nicht mehr in die Luft eindringen können, sondern von dem Wasserspiegel zurück geworfen oder gespiegelt werden; man nennt dies die gänzliche (totale) Zurückwerfung, weil der Strahl nichts von seiner ursprünglichen Stärke verliert.

Da $\frac{3}{2}$ der Brechungsexponent für den Übergang des Strahles aus Luft in Glas, also $\frac{1}{n} = \frac{2}{3} = 0{,}66\ldots = \sin 41^0\ 48'$ (Gränzwinkel) ist, so werden die Strahlen, welche aus Glas kommend die Trennungsfläche unter einem Winkel $< 48^0\ 12'$ treffen, nicht mehr in die Luft übergehen, sondern gänzlich zurückgeworfen werden.

Strahlen, welche aus Luft kommend Wasser, Glas oder dichtere Luft schief treffen, dringen auch nur theilweise in diese Mittel ein; ein Theil wird stets zurück geworfen.

Die helle Kammer. Das Prinzip der gänzlichen Zurückwerfung läßt sich benutzen, um Bilder von entfernten Gegenständen auf eine nahe Papierfläche überzutragen. Wenn nämlich (Fig. 185.) mnop der senkrechte Querschnitt eines Glasprismas ist, die Seite mp lothrecht gehalten wird und der Winkel p etwa 60° beträgt, so wird ein horizontaler Strahl ab durch die Fläche mp ungebrochen zur Fläche op gehen, diese unter 30° = u treffen, daselbst gänzlich unter s = 30° nach on, von dieser, wenn der Winkel o = 120° ist, wieder unter demselben Winkel r = x = 30° nach mn zurück geworfen werden und diese, wenn n = 60° ist, unter einem rechten Winkel treffen, also ungebrochen durchgehen, so daß ein Auge in o den leuchtenden Punkt a in die Richtung oα versetzt und auf einer dort angebrachten Fläche bezeichnen kann. Wollastons Camera lucida.

Um diesen letzten Zweck besser erfüllen zu können ist es vortheilhafter p = n $67\frac{1}{2}$°, o = 135°, also m = 90° anzunehmen, so daß dann u = s = r = x = $22\frac{1}{2}$° ist. Wenn nämlich unter dieser Annahme mp lothrecht gehalten wird, so ist mn horizontal und oα auch lothrecht und geht für eine geringe Ausdehnung der Seiten des Prismas so dicht an der Ecke n durch, daß das Auge in o leicht neben n auf dem horizontal zum Abzeichen hingelegten Papiere den Zeichnenstift zugleich mit dem Bilde α sehen kann.

Wenn man eine recht dünne Glastafel von gutem Spiegelglase dicht neben einen auf einem weißen Papiere liegenden kleinen Gegenstand (einen Schmetterling u. dergl.) senkrecht stellt und das Auge seitwärts über dem Glase auf derselben Seite hält, so kann man das auf der anderen Seite des Glases sich zeigende Bild mit Leichtigkeit abzeichnen. Gestell zum Festhalten der Glasscheibe.

Ein leeres unten geschlossenes und schief in ein Glas mit Wasser gehaltenes Probirglas zeigt wegen der totalen Reflexion Metallglanz wie Quecksilber; aber ein mit Wasser gefüllter Theil desselben verliert diesen Glanz, weil die Strahlen nun aus dem Glase in dieses Wasser treten, während sie früher in die Luft nicht traten. — Einen Gegenstand unter der Basis eines Prismas sieht man bei hinreichend tiefer Lage des Auges durch das Prisma nicht.

Luftspiegelung. In weiten und namentlich sandigen Ebenen kann es bei Sonnenschein und ganz ruhiger Luft vorkommen, daß die an dem Erdboden lagernden Luftschichten eine weit geringere Dichtigkeit besitzen, als die höheren und kälteren. Ragt nun auf einer solchen Fläche ein Gegenstand ab (Fig. 186.) ganz oder theilweise (z. B. von d an in diese kälteren Luftschichten und befindet sich darin auch ein Auge o in größerer Entfernung von ab, so werden die von ad auf die wärmeren Luftschichten unter einem sehr spitzen Winkel auftreffenden Strahlen nach und nach so sehr vom Einfallslothe abgelenkt, daß endlich die Zurückwerfung eintritt, das Auge den Punkt a nach α, d nach δ versetzt und den Gegenstand da umgekehrt in $\delta\alpha$ erblickt, wie wenn ein Wasserspiegel vor demselben wäre. Diese Taüschung wird noch dadurch vollendet, daß der unterste Theil bd des Gegenstandes, welcher sich in der dünnen Luftschicht befindet, und der ganze Erdboden um und vor dem Gegenstande niedriger erscheint, weil die von ihnen zur dichteren Luftschicht gehenden Strahlen zum Einfallslothe gebrochen werden, wodurch zwischen dem durch direktes Licht dem Auge o wahrnehmbaren Gegenstande ad und seinem Bilde ein heller leerer Streifen, welcher wie eine Wasserfläche aussieht, erscheint. Bei größerer Nähe oder Erhebung des Auges verschwindet die Spiegelung und die damit verbundene Taüschung.

Auf dem Meere kann leicht der umgekehrte Fall vorkommen, nämlich daß die untersten auf ihm lagernden Luftschichten namhaft kälter und dichter sind, als die höheren. Je weiter nun schief aufwärts gehende Strahlen ar und bn (Fig. 187.) eines Gegenstandes kommen, desto mehr werden sie vom Einfallslothe abgelenkt, bis sie endlich zurück geworfen werden und ein innerhalb der kälteren Luftschicht befindliches Auge o ein verkehrtes Bild $\alpha\beta$ des auch darin vorhandenen Gegenstandes über ihm erblickt. Ist der Wasserspiegel hinreichend ruhig, so zeigt er von ab ein verkehrtes Bild darunter, von welchem sich über $\alpha\beta$ ein grades durch Luftspiegelung erzeugt, so daß man von ab zwei Bilder in der Luft darüber wahrnimmt.

Ist in einem schmalen, ziemlich langen Glasgefäße Wasser, gießt man durch eine bis auf den Boden reichende Röhre Schwefelsäure und sieht dann nach der Länge des Gefäßes auf einen leuchtenden Gegenstand, so erscheint er doppelt.

Von Schiffen, die sogar unter dem Horizonte des Beobachters waren, hat man (Scoresby in den grönländischen Meeren) ein grades und ein verkehrtes Bild gesehen.

Ebenso spiegelt sich auch die Sonne und der Mond ab: Nebensonnen, Nebenmonde, in gleicher Höhe seitwärts, auch senkrecht oberhalb und unterhalb (im Umfange eines weißlichen Ringes). Sie können durch Reflexion von den in den höheren Schichten der Atmosphäre schwebenden kleinen Eiskrystallen entstehen. — Sieht man ein Licht durch eine behauchte Glasscheibe oder in einem dunstreichen Zimmer an, so ist es von einem Lichtscheine umgeben. Auf gleiche Weise haben auch Sonne und Mond und größere Sterne bisweilen Höfe und Kreise um sich, welche von der Beugung, Brechung und Zurückwerfung der Strahlen in den Dünsten und Eiskrystallen der Atmosphäre entstehen. Der sogenannte Heiligenschein um den Schatten eines beleuchteten Kopfes auf dichtem Nebel.

Wird eine senkrechte Wand von ziemlicher Ausdehnung durch die Sonne stark erwärmt, so daß sich eine an ihr aufsteigende stark verdünnte Luftschicht bildet, so entstehen die Luftbilder seitwärts.

Auf dem Genfer See hat man am Ufer in der Nähe des Vorgebirges Belle Rive diese Erscheinung an entfernten Schiffen beobachtet.

Durch einen mit glühenden Kohlen gefüllten Eisenblechkasten oder durch zwei sich allmälig mit einander verbindende Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewichte, von denen die leichtere vorsichtig über die andere gegossen worden ist, kann man die obigen Erscheinungen nachahmen.

e) Grund für die Undurchsichtigkeit. Da die Lichtstärke bei dem Übergange der Lichtstrahlen aus einem Mittel in ein anderes, besonders ein schwächer brechendes, abnimmt, ja der Durchgang sogar aufgehoben und in eine Zurückwerfung verwandelt werden kann, so ist klar, daß, wenn dieser Übergang öfter stattfindet, das Licht unter allen Umständen in das neue Mittel gar nicht mehr einzudringen vermag.

Legt man ein ganzes Stück klares Eis auf ein beschriebenes Blatt, so vermag man noch durch das Eis die Schrift zu erkennen; zerstößt man aber das Eis, so daß die Lichtstrahlen genöthigt werden öfter aus Eis in Luft und umgekehrt überzugehen ehe sie in unser Auge gelangen, so ist es undurchsichtig geworden; ebenso ist Regenwasser durchsichtig, Schnee undurchsichtig wie der Schaum von irgend einer Flüssigkeit; Bergkrystall und glattes Glas sind durchsichtig, während Quarz und matt geschliffenes undurchsichtig sind.

Füllt man aber die Poren oder Zwischenraüme eines festen Körpers

mit einer Flüssigkeit, welche mit dem festen Körper fast oder ganz dieselbe lichtbrechende Kraft besitzt, so erhält jener wieder die Durchsichtigkeit.

Terpentinöl auf matt geschliffenem oder gepulvertem Glase macht dieses durchsichtig; undurchsichtiges Kronglas ist in kanadischem Balsam kaum zu erkennen; bei ungeschliffenen Edelsteinen entdeckt man Risse im Innern, wenn man sie mit Sassafrasöl übergießt. Will man das Brechungsvermögen kleiner unregelmäßig geformter Körper untersuchen, so taucht man sie in eine Mischung zweier das Licht verschieden brechenden Flüssigkeiten, deren Mischungsverhältniß so lange abgeändert wird, bis der zu untersuchende Körper in der Mischung undurchsichtig wird, also dasselbe Brechungsvermögen mit ihr hat.

IV. Durchgang des Lichtes durch Körper von bestimmter Begränzung.

Bisher untersuchten wir in der Dioptrik vorzugsweise den Weg eines Lichtstrahls, wenn er aus einem Mittel in ein anderes übertritt, ohne daß er aus diesem aufs neue in das erste träte. Nun aber wollen wir die Erscheinungen anführen, welche eintreten, wenn das Licht in einem bestimmten Medium oder im leeren Raume durch einen Körper von bestimmter Lage und Form der Durchgangsflächen geht.

A. Die Ebene, durch welche der Lichtstrahl in ein neues Mittel eintritt, kann mit der, durch welche er aus ihm tritt, parallel sein.

Nehmen wir z. B. eine von parallelen Ebenen begränzte Glastafel an, deren senkrechter Querschnitt (Fig. 188.) dg sei, ao sei von a aus ein Lichtstrahl, so wird sein Weg im Glase oc sein, wenn $\sin c : \sin b = 4 : 3$ ist; aber beim Übergange aus Glas in Luft muß $\sin e' : \sin b' = 3 : 4$ sein, oder es wird jetzt der Lichtstrahl ($c\alpha$) um eben so viel vom Einfallslothe gebrochen, als er vorhin zum Einfallslothe gebrochen wurde: der in die Luft austretende Strahl ist mit dem in dasselbe eintretenden parallel, wenn die Trennungsflächen parallel sind.

Daher kommt es, daß die durch eine dickere Glasscheibe zugleich und schief gesehenen Gegenstände ihre gegenseitige Lage behalten, obwohl sie alle aus ihrer Stelle verrückt erscheinen (ein Auge in α sieht den Punkt a in der Richtung αcx), daß dagegen dieses nicht der Fall ist, wenn das Auge theilweise direkte Lichtstrahlen empfängt. — Bei dünnen Glasscheiben ist die Verrückung unmerklich. — Ginge ein Lichtstrahl durch mehre auf einander gelegte Platten mit parallelen Gränzflächen, so würde der aus der letzten tretende Strahl dem einfallenden auch parallel sein.

B. Die Durchgangs- oder Trennungsebenen können ferner entweder unmittelbar oder erst bei ihrer Erweiterung einen Winkel bilden. Eine besondere Vorrichtung dafür heißt ein Prisma, wenn sie auch nicht immer die Gestalt des in der Mathematik vorkommenden besitzt. Die Linie, worin die Durchgangsebenen einander schneiden, heißt seine Kante, der Neigungswinkel dieser Flächen der brechende Winkel, die ihm gegenüber liegende Fläche des dreiseitigen Prismas die Basis und der auf der Kante senkrechte Schnitt der Hauptschnitt, welcher ein rechtwinkliger, gleichschenkliger, gleichseitiger u. s. w. Triangel sein kann.

a) Ablenkung der Objekte aus ihrer Lage im Allgemeinen. Ist in Fig. 189. bpq der Hauptschnitt eines Glasprismas und trifft ein Lichtstrahl ao in dieser Ebene die Trennungsfläche in o, so wird er zum Einfallslothe ol, etwa in der Richtung oc, dagegen beim Übergange von c aus in die Luft vom Einfallslothe cl, etwa in der Richtung $c\alpha$ gebro-

chen. Ein auffallender Sonnenstrahl ao wird also auf einer gegenüber stehenden Wand ss nicht in α', d. i. in der Verlängerung von ao, sondern in α erscheinen und eben so wird ein Auge in a, welches in der Richtung ao durch das Prisma sieht, nicht einen Punkt α' in dieser Richtung, sondern α in der Stelle von α' erblicken. Ist der Brechungswinkel eines Prismas nach oben gerichtet, so werden die Gegenstände gehoben; liegt jener nach unten, so werden diese nach unten verrückt; liegt jener seitwärts, so werden auch diese nach derselben Seite verschoben.

Fallen von einem Gegenstande Lichtstrahlen auf ein Glas mit vielen unter verschiedenen Winkeln gegen die Rückfläche geneigten Ebenen, so sieht ein Auge an einer Rückebene den Gegenstand an verschiedenen Stellen, also vervielfältigt. — Wollte man durch ein solches Glas ein einzelnes Objekt als Ganzes sehen, so müßten die einzelnen Theile desselben auf angemessene Weise zerstreut gezeichnet gezeichnet sein. — Rautengläser, Polyeder; dioptrische Anamorphosen.

b) Abhängigkeit der Richtung des austretenden Strahles gegen den eintretenden. Die Richtung des austretenden Strahles gegen die des auffallenden ist abhängig α) von dem Einfallswinkel des auffallenden Strahles, β) von dem Brechungsexponenten des Stoffes, aus welchem das Prisma besteht, γ) von dem Brechungswinkel des Prismas, δ) von der Lage der Brechungsebene gegen die Brechungskante.

α) Wir wollen zunächst bei einem Prisma aus einem bestimmten Stoffe, z. B. Glas, stehen bleiben und einen Strahl in der Ebene des Hauptschnittes betrachten.

1) Wenn die Richtung des Strahles ao (Fig. 190.) im Glase oc ist, so wird oc nur dann aus dem Glase treten, wenn der Winkel v, den er mit dem Einfallslothe lw macht, kleiner als der Gränzwinkel ist. Da nun $x + v + w = 2R = w + b$, also $x + v = b$ und $v = b - x$ ist, so darf v oder $b - x$ nicht größer, als der Gränzwinkel 41° 48″, d. h. muß kleiner als $b - x$ oder $x < b - v$ sein, wenn noch ein Durchgang stattfinden soll; wäre $v > b - x$ oder $x > b - v$, so träte totale Reflexion ein; dann wäre $v > 41°\ 48'$. — Wäre in $v = b - x$ das $b = 2v$, so wäre $x = v$ und der Austritt unmöglich, weil der Brechungswinkel x stets kleiner als der Gränzwinkel v ist; ebenso wenn $b > 2v$ wäre. Je kleiner b ist, desto kleiner muß auch x sein, damit $b - x$ noch innerhalb der Gränzen des Gränzwerthes bleibe; desto mehr darf sich also auch der auffallende Strahl ao seinem Einfallslothe lo nähern. — Wäre $b = v$, so wäre $x = o$ oder der gebrochene Strahl in der Richtung des Lothes low, und es würden dann alle zwischen dem Lothe lo und po auffallenden Strahlen durchgehen. — Wäre $b < v$, so könnten auch noch Strahlen, die von lo nach bo zu einfallen, durchgehen.

2) Die austretenden Strahlen erleiden bei einem Prisma von bestimmtem Stoffe und mit bestimmtem Brechungswinkel nicht stets dieselbe Ablenkung. Wenn der Strahl im Hauptschnitte des Glases mit den beiden Brechungsflächen bp und bq (Fig. 190.) gleiche Winkel $x = y$ bildete oder ein symmetrischer Durchgang stattfände, so würden der ein- und austretende Strahl mit ihnen auch gleiche Winkel bilden, weil der Strahl in o eben so sehr zum Einfallslothe ow gebrochen, als in c von

cl abgelenkt wird. Werden die Ablenkungen des Strahles in o und in c mit a benannt, so ist die ganze Ablenkung A des austretenden Strahles von dem eintretenden gleich 2a. — Bildete nun ein einfallender Strahl ro einen größeren Einfallswinkel, als mo (rol > mol), so würde nach dem Eintritte bei o die Ablenkung größer, nach dem Austritte bei s kleiner als a sein; aber die Zunahme der Ablenkung bei o ist größer, als die Abnahme bei s, also die Gesammtablenkung, die der Strahl ro erfährt, größer, als die des symmetrisch durchgehenden Strahles mo. — Bildete der einfallende Strahl to einen kleineren Einfallswinkel, als mo (tol < mol), so würde zwar nach dem Eintritte bei o die Ablenkung kleiner, nach dem Austritte bei u größer als a sein, jene Differenz beträgt aber weniger als diese; also ist die Gesammtablenkung auch hier größer, als beim symmetrischen Durchgange; demnach ist **beim symmetrischen Durchgange eines Lichtstrahles durch ein Prisma die Gesammtablenkung desselben am kleinsten.**

Die kleinste Ablenkung läßt sich bei einem Prisma von bestimmtem Brechungswinkel durch Versuche ermitteln. Stellt man das Prisma mit seinem Hauptschnitte auf eine horizontale, um eine senkrechte Axe drehbare Platte und richtet ein davor gestelltes Theodolithfernrohr das eine Mal direkt nach einem entfernten Punkte, das andere Mal nach seinem durch das Prisma bei der kleinsten durch Drehung ermittelten Ablenkung hervorgebrachten Bilde, so läßt sich der Winkel der kleinsten Ablenkung ablesen.

β) Die kleinste Ablenkung A wird bei einem bestimmten Brechungswinkel b des Prismas für verschiedene Stoffe nach ihrem Brechungsexponenten verschieden sein; demnach muß sich wohl auch der Brechungsexponent n eines Stoffes aus A und b berechnen lassen, wenn man nur ein Prisma aus ihm hat. Feste Körper lassen sich zu Prismen schleifen, tropfbar und elastisch flüssige schließt man zwischen prismatisch gestellte, ebene Glasplatten mit parallelen Wänden ein.

Ist e (Fig. 191.) für den einfallenden und symmetrisch durch das Prisma gehenden Strahl mo der Einfallswinkel, x = y der Brechungswinkel, so ist der Brechungsexponent $n = \frac{\sin e}{\sin x}$. Zieht man nun durch b die tu || mo und rs || cn, so ist der kleinste Ablenkungswinkel

$A = 180^0 - r - b - r'$; ferner

$r' = r = 90^0 - e$, also

$A = 2e - b$ und $e = \frac{A+b}{2}$. Endlich ist $x + y = 2x$, also ist $x = \frac{b}{2}$ und

$$n = \frac{\sin e}{\sin x} = \frac{\sin \frac{A+b}{2}}{\sin \frac{b}{2}}.$$

Der Brechungsexponent ist, wenn die Lichtstrahlen aus dem leeren Raume übergehen, z. B. für

gemeines Glas	1,596	Alkohol	1,372	Sauerstoff	1,000272
Flintglas	1,664	Mohnöl	1,463	Wasserstoff	1,000138
Steinsalz	1,498	Anisöl	1,811	Cyangas	1,000834
Obsidian	1,488	Thran	1,438	Schwefelkohlenstoff	1,00150
Bergkrystall	1,562	Terpentinöl	1,476	Chlor	1,000772
Topas	1,610	Schwefelkohlenstoff	1,68	Stickstoff	1,000300

Wird ein tropfbar flüssiger Stoff in einen gasförmigen verwandelt, so nimmt sein Brechungsvermögen ab.

γ) Wenn der Brechungswinkel eines Prismas aus einem bestimmten Stoffe wächst, so wächst für eine bestimmte Lage des auffallenden Strahles die Ablenkung des ausfahrenden, was sich aus dem Obigen: $A = 2e - b$, wobei A die Abweichung und e der Einfallswinkel ist, ergiebt. Sind der Einfallswinkel e und der Brechungswinkel x sehr klein, so verhalten sich ihre Sinus wie die Winkel selbst, oder aus $\sin e = n \sin x$ wird $e = nx$, wobei n der Brechungsexponent des Stoffes ist. Wenn nun bei einem Prisma mit dem kleinen Brechungswinkel b für einen symmetrischen Durchgang des Strahles die Ablenkung $A = 2e - b$ war, so wird jetzt $A = 2 . nx - b$ und, weil $x = \frac{b}{2}$ war,

$$A = 2n . \frac{b}{2} - b = (n-1) b,$$ wobei $(n-1)$ konstant ist, d. h.

Bei kleinen brechenden Winkeln der Prismen und einem symmetrischen Durchgange ist ihre (nämlich die kleinste) Ablenkung den brechenden Winkeln der Prismen proportional.

Ist z. B. (Fig. 192.) bei den gleichschenkligen Prismen bpq und βpq $b = 2\beta$, sind ferner ac und ae symmetrisch dieselben durchgehenden Strahlen, so sind sie bei ihrem Durchgange der Basis parallel, rc ‖ se ‖ pq, und sowohl der in βpq eintretende, als auch der austretende Strahl müssen mit pq einen doppelt so großen Winkel machen, als die ein- und austretenden Strahlen des anderen Prismas, und wenn andererseits von a ein Strahl ae ausgeht, der mit pa einen doppelt so großen Winkel macht als ca, so wird er auch in der doppelten Entfernung von pq das Prisma βpq symmetrisch und das Maximum der Ablenkung durchlaufen. Die austretenden Strahlen müssen, wenn die Prismen einerlei Basis haben, einander in einem Punkte, welcher von der Mitte der Basis eben so weit als a entfernt ist, schneiden.

δ) Wenn der auffallende Strahl nicht in der Ebene des Hauptschnittes liegt, so wird auch der gebrochene nicht darin liegen, da das Einfallsloth die Linie sein wird, in welcher sich die Ebene des Hauptschnittes und des Einfalls- und Brechungswinkels schneiden. Die letztere das Prisma schief schneidende Ebene wird an der Brechungskante einen größeren Winkel haben, als der Hauptschnitt, folglich wird auch die Gesammtablenkung des auffallenden Strahles größer sein, als in den vorigen Fällen.

Da das Bild eines Gegenstandes von diesem fort nach der Brechungskante hin rückt, so wird man durch ein Prisma grade, mit der Brechungskante parallel gelegte Gegenstände gekrümmt erblicken und zwar die konvexe Seite nach dem Gegenstande gerichtet.

C. Die Durchgangsflächen sind gekrümmte. Wenn ein Lichtstrahl durch einen Körper geht, dessen Gränzflächen keine Ebenen sind, wenigstens theilweise, so lassen sich nur dann bestimmte Gesetze aufstellen, wenn die krummen Flächen eine nach mathematischen Gesetzen ganz bestimmte Krümmung haben; wir halten hier die kugelförmige fest, nennen darnach geformte Körper Linsen und unterscheiden

a) konvexe und zwar α) bikonvexe, welche durch zwei nach außen gewölbte Theile von Kugelflächen, β) plankonvexe, die durch eine ebene und eine nach außen gewölbte Fläche und γ) konkav-konvexe, welche durch einen hohlen und einen mehr gekrümmten erhabenen Theil einer Kugelfläche (Meniskus);

b) konkave und zwar α) bikonkave, welche durch zwei nach innen

hohle Theile von Kugelflächen, β) plankonkave, die durch eine ebene und eine nach innen hohle Fläche, γ) konvex-konkave, welche durch einen erhabenen und einen mehr gekrümmten hohlen Theil von Kugelflächen begränzt werden.

Die Linie, welche durch beide Krümmungsmittelpunkte geht, heißt die Axe, und der Punkt in ihr, welcher in der Mitte zwischen den Gränzflächen liegt, der optische Mittelpunkt. Bei den plankonvexen oder plankonkaven Linsen ist die Verbindungslinie des Krümmungsmittelpunktes mit dem Mittelpunkte des Begränzungskreises die Axe.

Die Linsen der ersten Hauptgattung sind in der Mitte dicker, die der zweiten Hauptgattung aber dünner als am Rande. Es reicht hin, die bikonvexen, so wie die bikonkaven Linsen einer näheren Betrachtung zu unterwerfen.

a) Konvexlinsen aus Kugelsegmenten.

α) Die Bilder von Punkten.

1) Betrachten wir zunächst eine bikonvexe Linse mn (Fig. 193), die von zwei Kugelsegmenten mit demselben Krümmungsradius aq = αp gebildet wird. Ist aα die Axe, o der optische Mittelpunkt, so stehen die durch die Treffungspunkte p und q gelegten Tangenten auf ihr senkrecht. Legt man nun auf beiden Seiten der Linse zu Punkten in gleichen Entfernungen von der Axe Paare von Tangenten (durch r, c; durch s, e), so werden die von ihnen gebildeten Winkel immer größer und größer (b $>$ β), je weiter die Berührungspunkte entfernt sind von der Axe. Es ist demnach gestattet, eine solche Linse sich als aus vielen Prismen mit immer größer werdenden Brechungswinkeln zusammen gesetzt zu denken. Liegen e und s doppelt so weit von der Axe als c und r, so wird der durch die Tangenten jener Punkte gebildete Winkel b das Doppelte von dem durch die Tangenten dieser Punkte gebildeten β sein, so lange die Krümmung der Linse von der Mitte bis an den Rand nur klein ist. Durchlauft nun ein Lichtstrahl von r aus die Linse parallel mit der Axe, so bilden der ein- und austretende Lichtstrahl mit der Axe gleiche Winkel und treffen sie in Punkten a und α, welche von der Linse oder ihrem optischen Mittelpunkte gleiche Entfernung haben. Findet dasselbe (se || aα) auch mit einem bei s eintretenden und von a ausgehenden Strahle statt, so wird er doppelt stark abgelenkt, als der Strahl ar und schneidet daher die Axe auch in α; träfe ein Strahl die Linse in der halben Entfernung, so würde er auch nur halb so stark gebrochen u. s. f. Daraus folgt: Daß es bei jeder bikonvexen Linse, deren Krümmung von der Mitte bis zum Rande nur geringe ist, in der Axe einen Punkt giebt, von welchem aus die Strahlen symmetrisch durch die Linse gehen und sich in einem auf der anderen Seite eben so entfernten Punkte der Axe zu einem Bilde sammeln. Man könnte diese Punkte symmetrische Sammelpunkte nennen.

2) Wenn a und α (Fig. 194) symmetrische Sammelpunkte der Linse mn sind und man läßt von einem der Linse näher liegenden Punkte d an den Rand der Linse den Strahl dm gehen, so erleidet er eine eben so starke Ablenkung, als der denselben Punkt m treffende Strahl am oder man findet für dm die Richtung des austretenden Strahles, wenn man $<$ ama

an den Punkten m der md trägt, also $dm\delta = am\alpha$ oder $\alpha m\delta = amd$ macht. Nach demselben Punkte δ wird der Strahl dn und jeder andere zwischen m und n von d aus die Linse treffende gebrochen; denn in demselben Maße, in welchem die einfallenden Strahlen sich der Axe nähern, werden sie auch weniger abgelenkt. Daraus folgt: Nähert sich der leuchtende Punkt von dem einem Sammelpunkte aus der Linse auf der Axe, so entfernt sich sein Bild auf der anderen Seite von der Linse und dem anderen Sammelpunkte, oder umgekehrt: wenn ein leuchtender Punkt in der Axe eine größere Entfernung, als der eine Sammelpunkt besitzt und divergente Strahlen auf die Linse sendet, so entsteht sein Bild näher an der Linse, als der andere Sammelpunkt.

3) Denkt man sich (Fig. 195) den Punkt d auf der Axe der Linse so weit genähert, daß $dm = da$ oder $x = y$ ist, so muß, weil $x = y = v$ und $x = w$ ist, auch $v = w$ also $m\delta \parallel a\alpha$ sein. Dieselbe Betrachtung gilt auch für die übrigen von d ausgehenden Strahlen. Demnach giebt es einen Punkt in der Axe der Linse, von welchem aus die Lichtstrahlen nach der Brechung parallel werden und umgekehrt in welchem sich von der entgegen gesetzten Seite parallel auffallende Strahlen sammeln. Dieser Punkt heißt Hauptbrennpunkt, seine Entfernung von der Linse die Brennweite.

4) Gehen von einem Punkte e (Fig. 196), welcher zwischen dem Hauptbrennpunkte d und der Linse liegt, Strahlen aus, so sind sie beim Austritte zwar weniger divergent, als beim Eintritte, sie können aber weder konvergent noch parallel werden, sondern bleiben divergent und schneiden rückwärts verlängert die Axe in einem Punkte ε, welcher weiter als e von der Linse zurück auf derselben Seite liegt.

Die Brennweite einer Linse ist nicht blos von der Gestalt der Linse, d. h. den Krümmungsradien, sondern auch von ihrem Brechungsexponenten abhängig. Die kleinste Ablenkung A für den kleinen Brechungswinkel b des Prismas und seinen Brechungsexponenten n war $A = (n - 1) b$. Wenden wir dies auf eine Glaslinse an, bei welcher $n = \frac{3}{2}$ ist, so wird $A = \frac{1}{2} b$ d. h. die kleinste Ablenkung bei einer Glaslinse ist gleich dem halben Brechungswinkel. Trifft also ein mit der Axe paralleler Strahl bm (Fig. 197) in der Nähe des Randes die Linse, so wird derselbe um den Winkel pma von seiner Richtung mp abgelenkt, wenn $\angle pma = omn$, mn die Tangente durch den Treffungspunkt m und somit omn der halbe Brechungswinkel der getroffenen Stelle ist. Da aber $\angle pmo = R = pma + amo = omn + amo = R$ ist, so ist am als Perpendikel auf der Tangente mn der Krümmungsradius oder: der Hauptbrennpunkt liegt bei einer Glaslinse im Krümmungsmittelpunkte.

Wäre der Brechungsexponent der Linse größer, so läge der Brennpunkt ihr näher. Die plankonvexen und konkavkonvexen Linsen (Menisken) sind wesentlich denselben Gesetzen unterworfen. Bei der plankonvexen Glaslinse ($n = \frac{3}{2}$) ist der Brennpunkt um den doppelten Krümmungsradius entfernt. — Alle diese Linsen befördern die Konvergenz der Lichtstrahlen und heißen deßhalb Sammellinsen, Sammelgläser; die Wirkung der Hohlspiegel ist eine ähnliche.

5) Betrachten wir nun die von einem außerhalb der Axe in ihrer

Nähe liegenden Punkte a (Fig. 198) ausgehenden Strahlen, so wird jedenfalls der in der Richtung nach dem optischen Mittelpunkte o gehende an ungebrochen durchgehen, weil die durch die Ein- und Austrittspunkte n und r gelegten Tangenten für gleiche Krümmungshalbmesser parallel sind; der mit der Axe parallele Strahl am wird aber nach dem Hauptbrennpunkte d zur Axe gebrochen, muß den verlängerten Strahl an in irgend einem Punkte α schneiden. Sind nun ab und $a\beta$ auf der Hauptaxe senkrecht und sehr klein, nimmt man, was ohne einen merklichen Fehler zu begehen geschehen kann, am = bm, $\angle$ maα = mbβ an; so wird, weil die Strahlen am und bm in m gleich stark abgelenkt werden, also $\angle$ amα = bmβ ist, nun Δ amα $\cong$ Δ bmβ und deshalb auch aα = bβ und die Entfernung der Punkte α und β von der Linse gleich sein, d. h. die von einem nicht in der Hauptaxe liegenden Punkte a ausgehenden Strahlen vereinigen sich auf dem Hauptstrahle des Punktes in derselben Entfernung von der Linse, in welcher die von einem auf der Hauptaxe in gleichem Abstande mit a befindlichen Punkte b einander in der Hauptaxe treffen.

Was nun die Lage des Punktes und seines Bildes zur Axe anlangt, so ist sie entgegen gesetzt, so lange der Punkt außerhalb der Brennweite liegt; befindet sich aber der Punkt a (Fig. 199) näher an der Linse als der Brennpunkt d, so entsteht sein Bild α auf derselben Seite der Axe rückwärts von ihm.

β) Von den Bildern ganzer Objekte. In Betreff der durch konvexe Linsen erzeugten Bilder von Gegenständen ergeben sich aus den obigen Betrachtungen folgende Gesetze:

1) Befindet sich ein Gegenstand im Hauptbrennpunkte, also eigentlich in der Entfernung, die durch die Brennweite angegeben wird, so erscheint von ihm kein Bild, weil die Strahlen nach der Brechung parallel sind.

2) Ist der Gegenstand ab (Fig. 200.) in dem einen symmetrischen Sammelpunkte, so ist sein verkehrtes physisches Sammelbild $a\beta$ in dem anderen und von gleicher Größe mit ihm, denn Δ oab $\cong$ $oa\beta$. Von o aus gesehen haben Bild und Gegenstand stets denselben Sehwinkel.

3) Ist der Gegenstand zwischen dem Brennpunkte und Sammelpunkte (Fig. 201.), so liegt sein verkehrtes physisches Bild außerhalb des anderen Sammelpunktes und vergrößert sich um so mehr, je näher der Gegenstand an den Brennpunkt rückt.

4) Liegt der Gegenstand außerhalb des Sammelpunktes (Fig. 202.), also in größerer Entfernung, als die doppelte Brennweite, so befindet sich das verkehrte physische Bild zwischen dem anderen Sammel- und Brennpunkte und verkleinert sich um so mehr, je weiter der Gegenstand sich von der Linse entfernt.

5) Befindet sich der Gegenstand zwischen Brennpunkt und Linse (Fig. 203.), also innerhalb der Brennweite, so entsteht von ihm auf derselben Seite ein grades entfernteres, also vergrößertes mathematisches Bild. Je näher der Gegenstand der Linse rückt, desto mehr entfernt sich das Bild und desto größer wird es.

Stets erscheinen Gegenstand und Bild unter gleichen Sehwinkeln, boa = βoa; da sie nun gegen die Hauptaxe auch einerlei Lage haben, so verhalten

sich die Größen des Gegenstandes und seines Bildes grade wie ihre Entfernungen von dem optischen Mittelpunkte der Linse; je mehr sich also das Bild von der Linse entfernt, desto größer ist es, mag es ein physisches oder mathematisches sein.

Will man eine konvexe Linse als Vergrößerungsglas anwenden, wie bei Lesegläsern, einfachen Mikroskopen, Lupen (Linsen von kleinen, aber über ½" großen Brennweiten) und beim optischen Kasten (Guckkasten in Panoramen), so muß der Gegenstand innerhalb der Brennweite, das Auge aber so gehalten werden, daß es von den nach der Brechung austretenden Strahlen noch getroffen wird, also innerhalb des Winkels $\beta o a$. (Fig. 203.)

Je kürzer die Brennweite einer Linse ist, desto näher liegende und desto kleinere Bilder bildet sie von weit entfernten Gegenständen; umgekehrt schließen wir bei einer Linse auf eine längere Brennweite, wenn das Bild eines kleinen Gegenstandes in der Nähe des Brennpunktes bei einer bestimmten Entfernung des Bildes von der Linse größer erscheint. Gläser mit großer Brennweite wendet man dazu an, um von Himmelskörpern im Brennpunkte verkehrte Bilder zu erhalten; Gläser mit kleiner Brennweite (unter ½"), um kleine Gegenstände unter einem größeren Sehwinkel in bedeutender Nähe in einem graden Bilde vergrößert und in größerer Entfernung (als der deutlichen Sehweite von 10") anzusehen. (Das einfache Mikroskop.) — Da beim einfachen Mikroskope der Gegenstand innerhalb der Brennweite dicht am Brennpunkte sich befindet und das Bild, um von dem dicht an die Linse gehaltenen Auge deutlich gesehen werden zu können, etwa 10" davon entfernt sein muß, so wird die lineare Vergrößerung das Sovielfache von der des Objektes sein, das Wievielfache 10" von der Brennweite der Linse sind, oder die lineare Vergrößerung ist gleich dem Quotienten aus der deutlichen Sehweite, dividirt durch die Brennweite; die Flächenvergrößerung ist dem Quadrate dieser Zahl gleich. — Die mit Wasser gefüllten Glaskugeln, welche manche Handwerker beim Arbeiten anwenden, sind auch eine Art konvexe Linsen.

b) Konkavlinsen aus Kugelsegmenten.

Die Gesetze bei konkaven Linsen lassen sich nach den obigen Betrachtungen leicht entwickeln; wir wollen die bikonkaven zum Grunde legen.

α) Bilder von Punkten.

1) Der Axenstrahl a*α* (Fig. 204.) geht ungebrochen durch; ein mit der Axe paralleler Strahl br wird beim Eintritte ins Glas zum Einfallslothe ar (weg von der Axe), beim Austritte vom Einfallslothe *α*n (wieder weg von der Axe) und also überhaupt so gebrochen, daß er nur rückwärts verlängert die Hauptaxe in einem Punkte d, dem negativen Brennpunkte, schneidet: alle parallel mit der Axe auffallenden Strahlen werden beim Austritte divergent und schneiden einander rückwärts verlängert in der halben Entfernung vom Krümmungsmittelpunkte im negativen oder geometrischen Brennpunkte.

2) Alle von irgend einem Punkte der Axe aus divergent die Linse treffenden Strahlen werden nach der Brechung noch divergenter, als im vorigen Falle, der Treffungspunkt ihrer rückwärts vorgenommenen Verlängerungen muß dem Glase noch näher liegen, als der negative Brennpunkt, also: mit der Annäherung eines leuchtenden Punktes an die Linse nähert auch sein Bild sich derselben vom negativen Brennpunkte aus.

3) Liegt ein Punkt b (Fig. 205.) außerhalb der Axe, so geht der Hauptstrahl bo ungebrochen durch, der zur Axe parallele br tritt bei n so

aus dem Glase, daß er rückwärts verlängert durch den negativen Brennpunkt d geht, vorher aber den Hauptstrahl in β, welches mit b auf derselben Seite der Axe liegt, trifft. Von jedem Punkte außerhalb der Axe entsteht ein der Linse näheres Bild auf derselben Seite der Axe.

β) Bilder von Objekten.

Daraus ergiebt sich nun für die durch konkave Linsen erzeugten Bilder: 1) sie sind stets mathematische, 2) stets näher der Linse, als der Gegenstand, 3) stets kleiner als dieser, 4) stets von derselben Lage und 5) bei Annäherung des Gegenstandes an die Linse und unveränderter Entfernung des Auges von dem Glase auf der anderen Seite vergrößert sich das Bild. Wenn nämlich von dem Gegenstande ab (Fig. 206.) $\alpha\beta$ das Bild ist, dessen Entstehung aus der Zeichnung sich mit Leichtigkeit ergiebt, so wird von demselben Gegenstande in der Lage a′b′ das Bild $\alpha'\beta'$ ebenfalls der Linse näher liegen und größer als $\alpha\beta$ sein, weil die von den Endpunkten des Gegenstandes mit der Axe parallel gehenden Strahlen bb′r und aa′s nach ihrer Brechung rückwärts verlängert denselben Winkel ndt bilden, zwischen dessen nach der Linse zu divergirende Schenkel stets das Bild fällt.

Wenn der durch eine Hohllinse betrachtete Gegenstand entfernter erscheint, als er ist, so liegt der Grund darin, daß wir ihn wegen seiner scheinbaren Kleinheit in größere Entfernung versetzen.

c) Allgemeines Gesetz bei Linsen. Bei allen Linsen mit bestimmten Krümmungsradien r und ρ müssen die Brennweite b, die Abstände a und α eines leuchtenden Punktes und seines Bildes und der Brechungsexponent n in einer nothwendigen Größenbeziehung stehen, so daß sich alle dioptrischen Gesetze auf eine einzige Hauptformel für diese Größen beziehen lassen.

Wenn von dem leuchtenden Punkte e aus (Fig. 207.) der Lichtstrahl en geht und ns seine veränderte Richtung von n aus ist, so ist $\angle\, en\delta = x$ der Nebenwinkel des Einfallswinkels, $sn\delta = y$ der Brechungswinkel; geht er beim Austritte von m in der Richtung $m\varepsilon$ fort, so ist $smd = v$ der Nebenwinkel des Einfallswinkels und $\varepsilon md = w$ Nebenwinkel des Brechungswinkels. Nun ist

1) $\sin x = n \,.\, \sin y$ und 2) $\sin v = n \,.\, \sin w$. Um nun die Winkel aus diesen Gleichungen zu eliminiren, steht, wenn wir den Strahl in der Nähe der Axe einfallen lassen, die Dicke der Linse als unbedeutend ansehen, der Kürze wegen die Krümmungsradien dm und δn mit r und ρ, die Abstände der Punkte e und ε von der Linse mit a und α und den Abstand des Punktes s von ihr mit z bezeichnen:

$\frac{\sin x}{\sin \delta} = \frac{e\delta}{en} = \frac{a+\rho}{a}$, $\frac{\sin y}{\sin \delta} = \frac{s\delta}{sn} = \frac{z-\rho}{z}$,

$\frac{\sin v}{\sin d} = \frac{\varepsilon d}{\varepsilon m} = \frac{\alpha+\rho}{a}$, $\frac{\sin w}{\sin d} = \frac{sd}{sm} = \frac{z+r}{z}$. Dadurch gehen die Gleichungen 1) und 2) über in:

3) $\frac{a+\rho}{a} = n \,.\, \frac{z-\rho}{z}$ oder $(a+\rho)\, z = an\,(z-\rho)$ und

4) $\frac{\alpha+r}{\alpha} = n \,.\, \frac{z+r}{z}$ oder $(\alpha+r)\, z = \alpha n\,(z+r)$, woraus

5) $z = \frac{na\rho}{na - a - \rho} = \frac{n\alpha r}{\alpha + r - n\alpha}$ oder

$a\rho\,(\alpha + r - na) = \alpha r\,(-\alpha - \rho + na)$ folgt. Dividirt man nun beide Seiten mit $a\rho\alpha r$, so wird daraus

6) $\frac{\alpha + r - na}{\alpha r} = \frac{-a - \rho + na}{a\rho}$ oder

$\frac{1}{r} + \frac{1}{\alpha} - \frac{n}{r} = -\frac{1}{\rho} - \frac{1}{a} + \frac{n}{\rho}$ oder endlich

$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{\rho} + \frac{n-1}{r} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\rho}\right)$.

Diese Formel enthält nun wirklich alle früheren besonderen Fälle und dient namentlich dazu, aus der Bestimmung des α die Lage des Bildes von a zu finden.

Sind die Strahlen parallel mit der Axe, so ist $a = \infty$, $\frac{1}{a} = o$, und wenn wir eine Glaslinse mit gleichen Krümmungsradien $r = \rho$ und dem Brechungsexponenten $n = \frac{3}{2}$ annehmen, so geht die Formel über in $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{r}$, d. h bei ihr ist die Entfernung des Vereinigungspunktes der parallel auffallenden Strahlen gleich dem Krümmungsradius oder α ist die Brennweite b. (Man findet praktisch die Brennweite einer konvexen Linse, wenn man den Abstand eines deutlichen, auf einer weißen Fläche aufgefangenen Bildes von einem entfernten Gegenstande, etwa dem Fenster, mißt.) Im Allgemeinen ist also b für parallel auffallende Strahlen aus $\frac{1}{b} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\rho}\right)$ leicht zu finden.

Setzt man in die obige Formel $\frac{1}{b}$ für $(n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\rho}\right)$, so geht sie über in $\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{b}$ und stimmt ganz mit der für die Kugelspiegel gefundenen Formel überein. Ist darin $a = 2b$, so ist auch $\alpha = 2b$, oder ist der Gegenstand um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, so ist dies auch mit dem Bilde der Fall u. s. w.

Für plankonvexe Linsen ist der eine Radius z. B. $r = \infty$ zu setzen und b wird dann $= 2\rho$. — Für bikonkave Linsen sind r und ρ, also auch b negativ zu nehmen. (Praktisch findet man bei ihnen die Brennweite, wenn man die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auffallen läßt und die Linse einer weißen Wand so lange nähert, bis der erleuchtete Kreis auf ihr einen doppelt so großen Durchmesser, als die Linse hat; die Entfernung der Linse von der Wand ist dann die Brennweite.)

d) Die sphärische Abweichung. Da nur bei kleinen Einfallswinkeln ihnen ihre Sinusse proportional gesetzt werden können und der Sinus des Brechungswinkels zum Sinus des Einfallswinkels bei einem bestimmten Mittel stets auch in einem bestimmten Verhältnisse steht; so müssen für größere Einfallswinkel, für welche die Sinusse weniger wachsen, die Brechungswinkel in einem größeren Verhältnisse wachsen oder zu dem n fachen Einfallswinkel gehört eine mehr als n fache Ablenkung, so daß die an den Rand der Linse auffallenden Strahlen ihren Vereinigungspunkt näher an der Linse haben, als die in der Nähe der Axe auffallenden, d. i. die zentralen. Um diesen Fehler der Linsen möglichst zu beseitigen, hindert man das Einfallen von Randstrahlen, indem man die Linse mit einem schwarzen Ringe, einer sogenannten Blende, an ihrem Rande umgiebt und dadurch den Winkel, d. i. die Öffnung der Linse (Apertur), unter welchem die Linse vom Brennpunkte aus erscheint, verkleinert.

Daher kommt es auch, daß die vom Brennpunkte ausgehenden und den Rand der Linse durchschneidenden Strahlen nach der Brechung nicht zur Axe parallel gehen, sondern zu ihr konvergiren. Deßhalb hat man (Fresnel) für Leuchtthürme durch Zusammensetzung eines Kugelsegmentes mit Linsenringen, welche zu Linsen mit verschiedener Brennweite gehören (für die größeren ist auch die Brennweite größer), zusammen gesetzte Linsen von 40° Öffnung hergestellt, welche eine Flamme im gemeinschaftlichen Brennpunkte des Systems auf 7 Meilen ins Meer noch gut sichtbar machen, während einfache Linsen eine Öffnung nur von etwa 15° zulassen.

V. Farbiges Licht.

a) **Farbenzerstreuung durch das Prisma.** Läßt man durch eine kleine kreisrunde Öffnung eines Fensterladens Sonnenstrahlen auf ein durchsichtiges Prisma fallen, so werden dieselben nicht nur gebrochen, sondern auch in ein längliches Farbenbild (Spectrum) aufgelöset. Welche Lage man auch immer dem brechenden Winkel geben mag, stets ist

1) das Farbenbild in der mit der brechenden Kante parallelen Lage nur so breit, als das unmittelbare Sonnenbild,

2) ist es in einer auf dieser Kante senkrechten Richtung in die Länge gezogen und von parallelen Längenlinien begränzt,

3) erscheinen die Farben stets in derselben Lage gegen das direkte Sonnenbild s (Fig. 208) so zwar, daß das Roth r ihm am nächsten, das Blau v am entferntesten liegt;

4) treten die Farben des Bildes nach und nach deutlicher hervor und mehr aus einander, je weiter man die auffangende weiße Wand von dem Prisma entfernt: anfänglich erscheinen nur die beiden zugerundeten Enden gefärbt, die Mitte noch weiß, bis man in einer Entfernung, in welcher das Bild mindestens doppelt so lang als breit ist, deutlich die sieben Farben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett bemerkt. — Durch weiteres Entfernen der auffangenden Fläche werden nicht noch mehr Farben wahrnehmbar. Theilt man das Spektrum in 360 gleiche Theile, so kommen auf Roth 45, Orange 27, Gelb 48, Grün 60, Blau 60, Indigo 40, auf Violett 80 Theile.

Daraus folgt:

1) **Daß die weißen Sonnenstrahlen aus einer Reihe von farbigen Strahlen von verschiedener Brechbarkeit bestehen** (die rothen Strahlen sind am wenigsten, die violetten am meisten gebrochen) oder daß das weiße Sonnenbild in eine Reihe farbiger Bilder aufgelöst wird, die um so mehr auf einander fallen, je kürzer das Spektrum ist und um so selbstständiger hervortreten können, je weiter die auffangende Wand vom Prisma entfernt ist. — Die Anzahl der einzelnen kreisrunden Sonnenbildchen muß aber wegen der graden Begränzungslinien der langen Seiten des Spektrums unendlich groß sein.

2) **Daß jede einzelne Farbe** (wegen ihrer bestimmten Lage im Spektrum) **eine bestimmte ihr zukommende Brechbarkeit besitze.**

Ersteres findet sich bestätigt, wenn man durch einen einfarbigen Stoff (eine gefärbte Flüssigkeit, ein farbiges Glas), welcher nur einer Gattung farbiger Lichtstrahlen den Durchgang gestattet, das prismatische Farbenbild betrachtet: durch ein dunkelrothes Glas sieht man nur ein kreisrundes rothes Farbenbild; oder auch, wenn man nur einfarbiges Licht durch das Prisma gehen läßt.

Läßt man zusammen gesetztes Licht durch ein Prisma gehen, so wird es zerlegt: eine Lösung von schwefelsaurem Indigo in einem Prisma giebt von dem weißen Lichte ein rothes und ein blaues Bild.

Letzteres läßt sich leicht bestätigen, wenn man in dem auffangenden Schirme Spalten hat, um eine einzelne Farbe unter einem bestimmten Winkel auf ein zweites Prisma fallen zu lassen. In der That hat jede der obigen sieben Farben einen bestimmten Ablenkungswinkel, ist aber nicht weiter in andere Farben auflösbar.

Ist neben einem rothen Punkte ein grüner auf weißem Grunde und sieht man sie durch ein Prisma an, dessen Brechungswinkel nach oben gerichtet ist, so erscheint der grüne höher, als der rothe, also die grünen Strahlen sind brechbarer. — Man kann die verschiedene Brechbarkeit den verschiedenen Farben auch beobachten, wenn man kleine Kreisscheibchen von lebhafter Farbe auf einen schwarzen Grund klebt.

Hat man ein Prisma mit veränderlichem Brechungswinkel (zwei bewegliche Glastafeln, zwischen denen Wasser enthalten ist), so verschwindet bei der allmähligen Vergrößerung des Brechungswinkels zuerst der violette Theil des Farbenbildes durch die Reflexion und zuletzt der rothe: die brechbarsten Strahlen werden also auch am leichtesten zurück geworfen.

Die leuchtende Kraft ist in den verschieden gefärbten Strahlen auch verschieden.

b) Farbenverbindung und Ergänzungsfarben. Schon die Wahrnehmung, daß nahe hinter dem Prisma das Spektrum in der Mitte noch weiß erscheint, weil die verschiedenen farbigen Bilder noch nicht haben aus einander treten können, läßt darauf schließen, daß die Vereinigung sämmtlicher Farben des Farbenbildes wieder Weiß geben werden. Läßt man das vollkommen ausgebildete Spektrum auf eine Sammellinse oder einen Hohlspiegel fallen, oder vereint man durch kleine Metallspiegel die verschiedenen Farben desselben Spektrums, so erscheint in der That auf einer weißen Fläche in gewisser Entfernung ein weißes Sonnenbild; entfernt man dann die Fläche, so treten nach und nach die Farben in umgekehrter Reihenfolge wieder hervor, müssen einander also alle in einem Punkte gekreuzt haben. Dasselbe geschieht auch, wenn man das so entstandene weiße Bild von einem Planspiegel zurück werfen läßt.

Betrachtet man (subjektiv) das vollständig ausgebildete (objektive) Spektrum durch ein zweites Prisma, welches so gestellt ist, daß es an derselben Stelle das Farbenbild erzeugen würde, so erscheint das von dem ersten Prisma erzeugte Bild wieder weiß und kreisrund. — Man kann auch dasselbe Prisma subjektiv benutzen, welches das objektive Spektrum erzeugt. — Durch zwei gleiche Prismen aus demselben Glase, deren Brechungswinkel nach entgegen gesetzten Seiten gekehrt sind, werden die Strahlen homogener Farben auch wieder parallel gemacht. — Man kann auch die Spektra verschiedener Prismen aus demselben Glase und mit gleichen Brechungswinkeln auf dieselbe Stelle werfen oder die neben einander fallenden Spektra vieler paralleler Spalten durch Entfernen derselben vom Prisma zum Decken bringen.

Ergänzungsfarben. Da durch die Vereinigung sämmtlicher Farben des Spektrums weißes Licht entsteht, so müssen durch Auslassung einzelner oder selbst mehrer Farben verschiedene ins Weiße gehende oder mit ihm eine größere oder geringere Verwandtschaft besitzende Farben entstehen. Die Auslassung des Roth giebt einen bläulichen Farbenton; daher geben

Roth und Blau auch Weiß oder: eine von diesen beiden Farben ergänzt die andere zu Weiß (Ergänzungsfarben) und so hat jede Farbe ihre Ergänzungsfarbe oder jeder einzelnen einfachen oder schon zusammen gesetzten Farbe fehlt zu Weiß stets eine andere Farbe, z. B. Grün ergänzt ein ins Rothe gehendes Violett; Roth, Gelb und Blau erzeugen Weiß.

Macht man aus dem Farbenbilde zwei ganz beliebige Theile und vereint die Farben eines jeden Theiles, so entstehen zwei Mischungsfarben, von denen jede die Ergänzungsfarbe der anderen ist. — Vereinigt man zwei solche Farben des Spektrums, zwischen denen nur eine fehlt, so erscheint diese ausgelassene Mittelfarbe, z. B. Roth und Gelb geben Orange, Gelb und Blau geben Grün, Indigo und Roth geben Violett, woraus sich wieder ergiebt, daß die Abstufungen der Farbenbilder durch Aufeinanderfallen der einfarbigen Sonnenbilder entstehen.

Wenn Körper allen Lichtstrahlen von beliebiger Färbung den Durchgang gestatten, so heißen sie wasserhell (weißes Glas, destillirtes Wasser); werden aber Lichtstrahlen nur einer bestimmten Farbe durchgelassen, und die anderen absorbirt, so erscheinen uns die durchsichtigen Körper auch nur in einer bestimmten Farbe, meistens in der durchgelassenen, wie z. B. farbiges Glas; aber bisweilen ist die Farbe des zurück geworfenen Lichtes eine andere, als die des durchgelassenen (auch die Ergänzungsfarbe).

Milchglas zeigt rothes durchgelassenes und blaülich weißes zurück geworfenes; das durchgelassene des Blattgoldes ist grünlich blau, das reflektirte röthlich gelb; das durchgelassene des Silbers blau, das reflektirte weiß.

c) Dunkle Linien im Farbenbilde. Es entsteht noch die Frage, ob die Abstufungen der Farben im Spektrum nur durch das theilweise Decken der einfarbigen Sonnenbilder gebildet werden, oder ob es nicht Stellen giebt, in denen keine solche Mengung ungleichartigen Lichtes stattfindet. — Man lasse durch eine recht enge Spalte auf ein fehlerfreies Prisma, dessen Brechungskante mit der Spalte parallel gehalten wird, in einer solchen Entfernung Licht fallen, daß die auffallenden Strahlen als parallel anzusehen sind. Nach der Brechung würden nun die Strahlen mit gleicher Brechbarkeit von derselben graden Linie, die mit verschiedener Brechbarkeit von verschiedenen graden Linien ausgehen müssen. — Hält man das Auge so, daß das Bild in seine Sehweite fällt, was man durch Drehung des Prismas um seine Axe bald erreicht, so entdeckt man eine ungemein große Anzahl von Bildern der Spalte oder eine große Menge (über 2000) von dunkeln, selbst schwarzen Linien oder Streifen, was ein Zeichen ist, daß im Farbenbilde nicht Strahlen von jedem denkbaren Grade der Brechbarkeit existiren, sondern daß ganze Reihen von auf einander folgenden Strahlen fehlen, welche vielleicht durch die Atmosphäre absorbirt werden mögen.

Man kann auch durch eine etwa $\frac{1}{2}$ Linie weite Öffnung Sonnenstrahlen auf ein gegen 10 Fuß entferntes Prisma fallen lassen, dabei vor das Prisma eine Sammellinse von 2 bis 3 Fuß Brennweite anbringen und endlich das Bild im dunklen Zimmer auf halb durchsichtigem Papiere auffangen. — Durch ein gutes Fernrohr bemerkt man, daß die Menge und verhältnißmäßige Entfernung dieser Linien ganz unabhängig ist von der Größe des Brechungswinkels und dem Materiale des Prismas. — Verschiedene Himmelskörper zeigen auch ver-

schiedene Farbenbilder, ebenso auch das Licht verschiedener anderer Körper; nur selten zeigt sich Licht homogen, z. B. wie das von stark verdünntem Weingeiste.

d) **Natürliche Farben der Körper.** Wenn die von dem weißen Sonnenlichte beleuchteten verschiedenartigen Körper in der Natur uns verschiedene Farben zeigen, so kann dies nur darin seinen Grund haben, daß das Sonnenlicht auf ihnen zersetzt wird und sie von den Elementarfarben nur eine oder einige zurück werfen. Ob nun diese Farben, welche sie uns zeigen, einfache oder zusammengesetzte sind, kann dadurch untersucht werden, daß man sie durch ein Prisma ansieht: die einfachen Farben müssen sich als solche zeigen und die zusammen gesetzten in ihre einfachen zerlegt werden, z. B. Grün ist entweder einfach oder besteht aus Gelb und Blau.

Man klebt zu diesem Zwecke kleine und lebhaft gefärbte Kreisscheibchen auf einen schwarzen Grund und sieht sie durch ein Prisma an. Ein weißer Punkt erscheint auf diese Weise mit allen prismatischen Farben in der Ordnung, daß für den nach oben gehaltenen Brechungswinkel Roth unten, Violett oben ist, indem das im Spektrum befindliche Auge das Licht in diejenige Richtung versetzt, in welcher es von ihm unmittelbar getroffen wird. Die im Fensterladen des dunklen Zimmers ohne Prisma weiß erscheinende Öffnung muß durch das Prisma die Farben des Spektrums in umgekehrter Ordnung zeigen, als in welcher sie auf eine entgegen gesetzte Wand auffielen. — Ein gelber Punkt hat kein blau und violett gefärbtes Ende (Gelb ergänzt Blau); ein blauer oder grüner Punkt zeigt wenig oder gar kein Roth; ein oranger Punkt hat außer Blau und Violett auch kein Grün. Dagegen erscheint die gelbe Spiritusflamme, deren Docht mit Kochsalz eingerieben worden, wieder fast gelb; die rothe Farbe von Strontian auch roth.

Werden nicht Punkte, sondern längliche Streifen betrachtet, so zeigt sich bei einem horizontal mit dem Brechungswinkel nach oben gehaltenen Prisma und senkrechter Lage der hinreichend langen Streifen nur ihr oberes und unteres Ende gefärbt; bei weißen Streifen enden die prismatischen Farben unten mit Roth, oben mit Blau und in der Mitte, wo die Farbenbilder aller Farben einander decken, bleibt das reine Weiß. — Würde der weiße Streifen parallel mit der Brechungskante gehalten, so würden an der oberen und unteren Seite nur die Gränzfarben erscheinen, wenn er hinreichend schmal, also als eine Reihe zusammenhängender Punkte anzusehen wäre.

Betrachtet man einen schwarzen Punkt oder Kreis oder auch eine schwarze Linie auf weißem Grunde, so scheint oben am Schwarz eine rothe, unten eine violette Färbung, weil für das Weiß über dem Schwarz die untere Gränzfarbe roth, für das Weiß unter dem Schwarz die obere Gränzfarbe violett ist.

Ist die Dimension der Streifen klein, so giebt beim Weißen die Mischung des Gelben und Blauen ein schönes Grün, beim Dunklen aber die Mischung des Rothen und Violetten ein schönes Purpur.

Ein Körper heißt **weiß**, wenn er alle Lichtstrahlen des auf ihn fallenden weißen (Sonnen-) Lichtes; **schwarz**, wenn er gar keine zurück wirft. Vollkommen weiße und schwarze Körper giebt es nicht, und auch die anderen zeigen uns zusammen gesetzte Farben. Wird irgend ein Körper durch weißes Licht beleuchtet, so erscheint er in seiner natürlichen Farbe: der rothe Körper roth u. s. w.; geschieht aber die Erleuchtung durch farbige Lichtstrahlen, so erscheint nur der weiße und der gleich gefärbte in dieser Farbe; die anders gefärbten erleiden durch farbiges Licht Abänderungen in der Färbung.

Das gelbe Licht der obigen Spiritusflamme zeigt rothe Gegenstände fast schwarz; Grün und Blau, welche bei gewöhnlichem Kerzenlichte oft nicht recht zu unterscheiden sind, erscheinen gelblich grau; hochroth wird schmutzig gelb.

Die scheinbar einfachen Farben durchsichtiger, fester und tropfbar flüssiger Körper zeigen sich meist als zusammen gesetzte, wenn man in ein dunkles Zimmer von einem feinen Spalte aus Sonnenstrahlen durch den zu untersuchenden Körper auf ein Flintglasprisma fallen läßt und das Bild dahinter mit einem Papierschirme aufhängt.

c) Blaüe des Himmels. Die Atmosphäre läßt nicht stets alle Lichtstrahlen gleichmäßig durch. Ist überhaupt die Menge der Dünste in der Luft oder ist die Dunstsättigung der Luft (relative Feuchtigkeit) gering, (in der Nacht, im Winter, zu Mittage besonders im Sommer), so erscheint der Himmel blau und klar und um so tiefer gefärbt, je reiner die Atmosphäre ist, wie es auf hohen Bergen und in der heißen Zone in der trockenen Jahreszeit statt findet, wo der Himmel fast schwarz erscheint. Es muß also die atmosphärische Luft vorzüglich die blauen Lichtstrahlen als die brauchbarsten auch am leichtesten reflektiren.

Wie lange die Luft das Wasser in wirklichem Dampfzustande enthält, so lange ist sie ganz durchsichtig und sogar in höherem Grade; je mehr aber die Zersetzung vorschreitet, um so mehr vermindert sich die Durchsichtigkeit. Die von dem Scheitelpunkte nach dem Horizonte zu wachsende Undurchsichtigkeit läßt uns das Firmament als eine platt gedrückte Halbkugel erscheinen.

f) Morgen- und Abendroth. Wenn die in der Atmosphäre in gasförmigem Zustande schwebenden Wasserdämpfe sich in Dünste verwandeln und Wolkengruppen bilden, wie es vorzüglich gegen Abend der Fall ist, so lassen die unter einem sehr kleinen Winkel durchgehenden Sonnenstrahlen die von ihnen erleuchteten helleren Wolken u. a. roth und gelb erscheinen (Abendroth), weil die Dünste besonders diese Strahlen durchlassen; ist die Dunstbildung noch nicht ganz vollendet, so erscheint der Himmel mehr grauweiß gefärbt. Beim Sonnenaufgange werden an der Erdoberfläche aus Dünsten Dämpfe erzeugt; aber weil dieses in der Regel erst bei einem höheren Stande der Sonne eintritt, so ist die Morgenröthe meist nicht bedeutend.

Beim Auf- und Untergange haben die Sonnenstrahlen den weitesten Weg durch eine dunsterfüllte Atmosphäre zurück zu legen. — Eine starke Morgenröthe deutet auf eine große Menge von Dünsten hin, die in der Entstehung aus Wasser begriffen sind, läßt also schlechtes Wetter vermuthen; bei einem starken Abendrothe sind zwar auch viele, aber in der Vernichtung oder der Verwandlung zu Wasser begriffene Dünste vorhanden, wodurch die Atmosphäre von Dünsten befreit wird und auf schönes Wetter zu hoffen ist. Bei mangelnder Abendröthe und grauem Himmel ist in der Atmosphäre viel dunstförmiges Wasser vorhanden.

g) Regenbogen. Eine schöne atmosphärische Lichterscheinung mit den prismatischen Farben ist der bekannte Regenbogen (ein Bogentheil: Wassergalle). Die Beobachtung zeigt, daß vor dem Beobachter eine regnende Wolke (auch ein Wasserfall, ein starker Springbrunnen, dessen Wasser sich sehr zertheilt), hinter ihm die scheinende Sonne sein muß, daß für einen bestimmten Standpunkt des Beobachters mit herabsinkender Sonne der Bogen wächst, mit steigender abnimmt und sogar ganz verschwindet, daß er mit zunehmender Erhebung des Beobachters über dem Horizonte zu, also mit abnehmender auch abnimmt, daß bei tiefer Stellung der Sonne und nahem Regen in der Höhe, wie bei Wasserfällen und auch bei hoher Stellung des Beobachters, ein ganzer Kreis entsteht, daß augenscheinlich

die Verbindungslinie des Mittelpunktes der Sonne mit dem Auge des Beobachters bei ihrer Verlängerung durch den Mittelpunkt des Farbenkreises oder Bogens geht, daß er nach innen violett, nach außen roth ist, und daß endlich außer diesem Hauptregenbogen oft noch, 10° etwa entfernt, ein diesen konzentrisch umschließender Nebenregenbogen mit umgekehrten Farben vorhanden ist. — Wie lassen sich nun diese Thatsachen erklären?

Die prismatischen Farben können nicht bei der Zurückwerfung, sondern nur bei der Brechung des Lichtes entstehen; es müssen daher die Sonnenstrahlen zuerst auf der Vorderseite in die Regentropfen eintreten, darin gebrochen, auf der Rückseite zurückgeworfen und auf der Vorderseite aufs Neue gebrochen werden. Trifft (Fig. 209) von s aus ein Sonnenstrahl in m den kugelförmigen Wassertropfen mcn, welcher sich in einer vor dem Beschauer vorhandenen Regenwand befindet, so wird er hier zum Einfallslothe om, etwa in der Richtung mc gebrochen, in c tritt er zum Theil in die Luft, zum Theil wird nach cn so zurück geworfen, daß ocm = ocn ist; in n wird er vom verlängerten Einfallslothe on nach np gebrochen und erleidet dabei in der Art eine Farbenzerstreuung, daß die am wenigsten brechbaren rothen Strahlen dem verlängerten Einfallslothe on näher liegen, als die violetten (die rothen unten, die violetten oben). Werden der auffallende Strahl sm und der austretende np bis zum Zusammentreffen in a verlängert, so giebt Winkel a die Ablenkung des auffallenden Strahles an und es läßt sich zeigen, wie dieselbe von dem Einfallswinkel e, welcher seinerseits den Brechungswinkel b bestimmt, abhängig ist. Nämlich $\angle$ mok $= b + b$ und auch $=$ oma $+$ oam $= e + \frac{a}{2}$, also $2b = e + \frac{a}{2}$ und $a = 4b - 2e$. Ist darin $e = o$, also auch $b = o$, so muß auch $a = o$ sein d. h. ein so auffallender (nach dem Mittelpunkte des Tropfens gerichteter) Strahl erleidet gar keine Ablenkung. Da der Brechungsexponent des rothen Strahles im Wasser 1,33 ist, so läßt sich aus $\sin e = 1{,}33 \sin b$ finden, daß für ein von 0° bis 90° wachsendes e, zwar b auch, wenn auch unbedeutender wächst, daß aber dabei a und zwar wenn e gegen 58 bis 59° ist, ein Maximum von $42^{\circ}\ 30'$ erreicht, welches selbst bei der Änderung des Einfallswinkels um einige Grade fast unverändert bleibt, so daß parallel auffallende Strahlen in fast paralleler Lage austreten und so auf das Auge einen merklichen Eindruck machen können, was bei der durch Divergenz bewirkten Schwächung der übrigen nicht der Fall ist. — Da der Brechungsexponent des violetten Strahles 1,34 ist, so ergiebt eine in gleicher Weise durchgeführte Rechnung für ihn als Maximum der Ablenkung $40^{\circ}\ 30'$, welches zugleich die Richtung ist, in welcher die violetten Strahlen wegen ihres parallelen Austrittes wirksam sein können. Die Entfernung des violetten Strahles vom rothen ist demnach $42^{\circ}\ 30' - 40^{\circ}\ 30' = 2^{\circ}$ (eigentlich $2^{\circ}\ 18'$); dazwischen werden in der Regenwand die übrigen Farben des Spektrums liegen, aber jede einzelne Farbe muß, weil die Sonne einen scheinbaren Durchmesser von $30'$ besitzt, also nicht blos ein einzelner Lichtstrahl auffallt, eine Dimension von $30'$, mithin sämmtliche Farben eine von $7 \cdot 30' = 3\frac{1}{2}^{\circ}$ besitzen, welches mehr als die Breite des Regenbogens ist, woraus auch folgt, daß die benachbarten Farben etwas in einander übergreifen.

Daß nun aber ein Kreis oder Kreisbogen aus jeder Farbe entsteht, ist daraus klar, daß aus allen Tropfen, welche gegen die Sonne und den Beobachter dieselbe Lage haben, auch dieselbe Strahlengattung zu dem Auge gelangt. Man bekommt die in dieser Lage befindlichen Tropfen dadurch, daß man durch die von der Sonne s (Fig. 210.) zu dem Auge p gehende Linie senkrecht auf den Horizont eine Ebene legt, vom Mittelpunkte o eines Tropfens mit bestimmter Farbe den Perpendikel ox auf die sp fällt und den entstandenen rechten Winkel sxo um sx dreht, wobei pa die Oberfläche eines graden Kegels, und o die Peripherie eines Kreises beschreibt. Aus den in der Oberfläche dieses Kegels befindlichen Tropfen wird dieselbe Farbe zum Auge gelangen; ein rother Strahl, wenn (Fig. 211.) $sap = apx = 42^0\ 30'$ und ein violetter, wenn $a'px = 40^0\ 30'$ ist; auf die Zwischenwerthe des Winkels kommen die anderen Strahlen; die violetten Strahlen v'p sind die unteren, die rothen rp die oberen.

Nun erklärt sich auch leicht, daß wenn sx horizontal oder die Sonne im Auf- und Untergange begriffen ist, ein Halbkreis erscheint; daß bei steigender Sonne der Bogen abnimmt (z. B. wenn sie um den Winkel hpx über dem Horizonte ph steht, ist der Bogen schon kleiner) und ganz verschwindet, wenn die Sonne um mehr als $42^0\ 30'$ sich über den Horizont erhebt. — Den höchsten Punkt des Regenbogens bestimmt der Unterschied zwischen $42\frac{1}{2}{}^0$ und der Sonnenhöhe, so daß bei einer Sonnenhöhe von $42\frac{1}{2}$ und mehr Graden kein Regenbogen entstehen kann. Überhaupt liegt der Mittelpunkt x des Kreises stets so tief unter dem Horizonte, als die Sonne s über ihm steht.

Aus einem veränderten Standpunkte sieht man auch einen anderen oder durch andere Tropfen gebildeten Regenbogen. Jeden neuen Augenblick sieht man auch auf einem bestimmten Standpunkte einen anderen und von anderen Tropfen gebildeten Regenbogen. Morgens kann er nur gegen Westen, abends nur gegen Osten, mittags in der nördlichen Halbkugel nur gegen Norden gesehen werden.

Da bei dem Nebenregenbogen die Farben in umgekehrter Ordnung erscheinen, so müssen die Sonnenstrahlen in jedem ihn erzeugenden Regentropfen auch einen anderen Weg nehmen. Im vorigen Falle war beim Austritte des Strahles aus dem Tropfen das Roth unten, das Violett oben; in diesem muß es umgekehrt sein. Dies ist nur durch eine öftere Zurückwerfung auf den inneren Wänden des Tropfens möglich. Es sei (Fig. 212.) sn der auffallende Strahl, er werde im Tropfen nach nk gebrochen, in k nach d und in d nach m zurück geworfen; so wird er hier beim Austritte vom Einfallslothe ol gebrochen, der rothe Strahl mr weniger, als der violette mv. Wenn nun in mehren Tropfen über einander wie (Fig. 213.) in den Tropfen a und a' diese doppelte Brechung und doppelte Zurückwerfung stattfindet, so wird ein in p befindliches Auge von den unteren Tropfen die rothen, von den oberen die violetten, von den zwischenliegenden die prismatischen Zwischenfarben erhalten und zwar dieselbe Farbe stets von allen Tropfen, die gegen die Sonne und gegen das Auge dieselbe Lage haben, sich also ebenfalls in der Oberfläche eine graden Kegels oder bei der Projektion auf der Peripherie eines Kreises befinden.

Bei einem Einfallswinkel e von etwa 71^0 ist bei diesem Wege des Lichtes das Maximum der Ablenkung $a = 540^0 - 6b - (360^0 - 2e) = 180^0 + 2e - 6b$ für die rothen Strahlen 50^0, für die violetten fast $53\frac{1}{2}{}^0$, also die Breite des Nebenbogens gegen $3\frac{1}{2}{}^0$; seine Entfernung vom Hauptbogen etwa gegen 8^0. Äußerst selten zeigt sich noch ein dritter Regenbogen.

Wenn die Sonne nur wenige Grade (etwa 7) über dem Horizonte steht und auf eine stark bethaute Ebene scheint, besonders wenn sie, wie im Herbste bisweilen, ganz dicht mit feinem Spinnengewebe überzogen ist; so sieht man auf dem Erdboden einen Regenbogen, der hyperbolisch erscheint.

Wenn die Sonne, namentlich bei einem niedrigen Stande, durch lückenhafte Wolken, welche mit Regen drohen, scheint, so werden die Strahlen von den Wassertheilchen in ähnlicher Weise reflektirt, wie in einer Stube von den Sonnenstaübchen und es zeigen sich, vermöge einer ähnlichen optischen Taüschung wie bei einer Alee, nach der Sonne hin konvergirende Streifen, obwohl die Sonnenstrahlen als parallel anzusehen sind. Dies ist die Erscheinung des sogenannten Wasserziehens.

VI. Farblose Brechung.
(Achromasie).

Geht das Licht durch ein Prisma, so ist die Ablenkung stets mit einer Farbenzerstreuung verknüpft. Wird bei einem bestimmten Stoffe der Brechungswinkel kleiner, so vermindert sich auch die Farbenzerstreuung: wenn anfänglich alle Farben des Spektrums erscheinen, so verschwinden nach und nach die mittelsten, bis endlich bei parallelen Brechungsflächen (wie z. B. bei Glasscheiben mit parallelen Ebenen) alle Farbenzerstreuung aufhört. Dieses allmählige Verschwinden ist die Folge des Aufeinanderfallens der verschiedenfarbigen Bilder benachbarter Strahlen. Wenn auf die Glastafel dg (Fig. 214.) der weiße Strahl ao schief auffällt, so wird er beim Eintritte zum Einfallslothe gebrochen und in farbige Strahlen so zerlegt, daß der violette ov dem Lothe näher liegt, als der rothe or. Dasselbe findet bei jedem anderen Strahle bc statt. Wenn nun bc so nahe an ao liegt, daß sein rother Strahl r′r′ mit dem violetten vv von ao zusammen fällt, so werden die verschiedenfarbigen Strahlen der einzelnen zwischen bc und ao liegenden weißen Strahlen nach und nach, je näher sie an ao kommen, auf vv fallen und Weiß hervorbringen. Dieses geschieht nicht nur mit jeder anderen Farbe des Strahles ao, sondern auch mit jeder Farbe jedes weißen Strahles, so daß weißes Licht durch weißes Glas mit parallelen Brechungsflächen auch weiß durchgeht.

Da die Farbenzerstreuung die Gegenstände undeutlich macht und die Linsen nicht blos brechen, sondern auch als eine Modifikation der Prismen zerstreuen; so sind die durch Linsen erzeugten Bilder um so undeutlicher, je kleiner der Krümmungsradius derselben ist, also vorzüglich bei den Linsen mit starker Vergrößerung. Es entsteht nun die Frage, ob es nicht möglich sein wird Prismen und Linsen zu erhalten, welche das Licht brechen ohne es zu zerstreuen.

Wenn ein weißer Strahl ao (Fig. 215.) auf ein Prisma M mit bestimmtem Brechungswinkel b fällt, so findet eine gewisse Brechung und Farbenzerstreuung statt, und wenn man das von M hervorgebrachte Spektrum durch ein anderes Prisma N aus demselben Stoffe und mit einem eben so großen Brechungswinkel b′ betrachtet, so erscheint es weiß, oder wenn man das Spektrum von M durch N gehen läßt, so tritt ein weißer Strahl $ca \parallel ao$ aus, oder ao erleidet keine Ablenkung von seiner Richtung und auch keine Farbenzerstreuung. Wäre aber das Prisma N aus einem anderen Stoffe, welcher zwar dasselbe Brechungsvermögen mit M, aber ein

größeres Farbenzerstreuungsvermögen besäße, d. h. unter übrigens gleichen Umständen ein längeres Farbenbild hervorbrächte; so würde, wenn $b = b'$ angenommen wird, noch ein mehr oder minder ausgebildetes Spektrum entstehen. Wollte man nun ein farbloses Bild haben, so müßte der Brechungswinkel b' in demselben Maße kleiner als b angenommen werden, als die Zerstreuungskraft des N größer ist, als die von M; dann würde diese Zusammensetzung zweier Prismen O und P (Fig. 224².) aus verschiedenen Stoffen ein Prisma geben, welches wegen entgegen gesetzter Lage der Brechungswinkel zwar schwächer bricht, als eines von ihnen, welches aber zusammen gesetztes Licht nicht mehr zerstreut.

Bei der Untersuchung des Brechungsvermögens (Brechungsexponenten) der verschiedenen Körper muß man stets die Ablenkung von Strahlen derselben Gattung oder der Strahlen mittlerer Brechbarkeit (der gelben) festhalten; bei der Aufsuchung des Zerstreuungsvermögens verschiedener Stoffe, welches durch den Unterschied zwischen dem Brechungsexponenten der rothen und der violetten Strahlen angegeben wird, findet sich, daß ungeachtet eines bestimmten Brechungswinkels der Prismen und einer bestimmten Entfernung des Spektrums von ihm, die Ausdehnung des letzteren überhaupt und seiner einzelnen Farben insbesondere sehr verschieden ist, so wie auch, daß das Verhältniß der Ausdehnung von je zwei bestimmten Farben für verschiedene Stoffe nicht dasselbe ist, d. h. von zwei Stoffen zerstreut zwar der ine z. B. mehr, als der andere, aber nicht alle Farben werden in gleichem Verhältnisse mehr zerstreut. Demnach ist es nicht möglich Prismen, die absolut farblose oder achromatische Bilder geben, zusammen zu setzen, sondern sie können nur für eine bestimmte Strahlengattung farblos sein.

Bleihaltiges Glas, Flintglas, hat mit dem Spiegelglase, Kronglas, fast dieselben Brechungsexponenten (1,664 und 1,596), die Zerstreuung des Flintglases ist 0,041809, bei Kronglas 0,021934, bei jenem also fast 2 (man nimmt 2,089) mal so groß, als bei diesem. Wenn nun ein Kronglasprisma einen Brechungswinkel $= 25°$ hat, so muß der des Flintglases $= \frac{25°}{2{,}089} = 11° \, 58'$ sein, wenn man annimmt, daß die Länge des Farbenbildes dem Brechungswinkel proportional wächst, was für kleinere Winkel ohne großen Fehler geschehen kann.

Aus der Größe der Brechungswinkel und dem Brechungsexponenten beider Prismen läßt sich nun auch die Ablenkung dieses farblosen Doppelprismas berechnen. Für Kronglas ist nach der früher entwickelten Formel $A = (n-1)\,b$ (worin A die Abweichung, b der Brechungswinkel des Prismas, n der Brechungsexponent des Stoffes ist) die Ablenkung A der mittleren Strahlen $= 25° \, (1{,}596 - 1) = 13{,}9°$; für Flintglas $= 11° \, 58' \, (1{,}664 - 1) = 7{,}37°$; also das zusammengesetzte Prisma hat noch eine Ablenkung von $13{,}9° - 7{,}37° = 6{,}53°$.

Bei einer einfachen Konvexlinse liegt der Brennpunkt der violetten Strahlen näher an der Linse, als für die rothen; jede Farbe überhaupt hat ihren eigenen Brennpunkt. Diese Brennpunkte liegen bei stärkerer Krümmung einer Linse weiter auseinander, als bei schwächerer und für verschiedene Stoffe und einerlei Krümmung liegen sie auch verschieden: Abweichungskreis, chromatische Abweichung, Diaphragma. Da nun eine Konvexlinse die violetten Strahlen stärker konvergiren, eine Konkavlinse sie stärker divergiren macht, als die rothen Strahlen, so läßt sich eine Konvexlinse von Kronglas mit einer konkaven von Flintglas so zusammen setzen,

daß ihre gleich starken Farbenzerstreuungen zwar einander fast ganz aufheben, daß aber immer noch eine Konvergenz der Strahlen übrig bleibt, indem bei diesem Systeme die Konvexität die Konkavität übertreffen muß.

Wenn man das durch ein Fernrohr mit achromatischen Linsen vergrößerte prismatische Farbenbild betrachtet, so entdeckt man, wie schon bemerkt worden, in ihm eine Menge (Frauenhofer nur 574) schwarzer, ungleich starker und auf der Längenrichtung senkrecht stehender Linien, deren auf eine bestimmte Farbe stets eine bestimmte Anzahl mit bestimmtem Wechsel in ihrer Stärke kommen, welches auch der brechende Winkel und die brechende Substanz sein mag. Nur eine Verschiedenheit in der Lichtquelle bringt in die Streifen eine Änderung; elektrisches Licht z. B. zeigt helle Streifen. — Durch diese Streifen mit ihrer unveränderlichen Lage ist ein sehr erwünschtes Mittel gefunden, die Brechungsfähigkeit der verschiedenen Farben in einem Mittel und die brechende Kraft der Mittel selbst schärfer zu bestimmen, als es bei der unbestimmten Abgränzung der Farben im Spektrum möglich war. Nun lassen sich noch schärfere Bestimmungen zur Zusammensetzung achromatischer Linsen machen und wenn noch beim Schleifen derselben die Abweichung wegen der Kugelgestalt vermieden wird (aplanatische, achromatische Linsen); so leisten sie alles, was man erwarten kann.

VII. Interferenz und Beugung des Lichtes.

a) Interferenz des Lichtes.

α) Erscheinung der Interferenz. Wir wollen nun die Erscheinungen untersuchen, welche eine Folge sind des Zusammentreffens von Licht aus zwei verschiedenen Quellen, es mag nun für beide direktes, reflektirtes oder gebrochenes Licht sein, oder auch für die eine von der einen Gattung, für die andere von der anderen.

1) Wenn man durch zwei ganz nahe neben einander liegende feine Öffnungen in ein verfinstertes Zimmer Licht fallen läßt und den auffangenden Schirm hinreichend entfernt, so greifen die beiden erleuchteten Stellen in einander über und es zeigen sich da, wo dies geschieht, abwechselnd helle und dunkle Streifen, welche sofort verschwinden, wenn man entweder die eine Öffnung verschließt oder sie so weit von der anderen entfernt, daß kein Übergreifen der Lichtkreise stattfindet. Die hellen Streifen sind heller, die dunklen sind dunkler, als die Stellen, welche nur von einer Öffnung Licht empfangen.

2) Bringt man zwei ebene Metallspiegel sp und sq (Fig. 216.) unter einem Winkel, welcher fast 2R gleich ist mit scharfen Kanten bei s genau an einander und läßt von einem Punkte a oder einer Linie zwischen ihnen Lichtstrahlen auf sie fallen, so bemerkt man nach der Zurückwerfung an Stellen, die von beiden Spiegeln Licht erhalten, ebenfalls eine Reihe heller und dunkler Streifen.

3) Nimmt man endlich ein Prisma mit sehr stumpfem Brechungswinkel b (Fig. 217.), so werden die auf mn fallenden Lichtstrahlen aus den Brechungsflächen bc und be unter einem sehr spitzen Winkel austreten und so fortgehen, als ob sie von zwei einander sehr nahe liegenden Punkten gekommen wären. Auch hier beobachtet man jene Streifen.

Aus diesen Thatsachen folgt, daß Licht und Licht nicht immer wieder Licht giebt, sondern daß ein Licht das andere auch aufheben kann: Interferenz.

β) Erklärung der Interferenz. Diese Erscheinungen stimmen so auffallend mit denen der Interferenz überein, welche wir bereits in der Wellenlehre, namentlich bei den Schallwellen, kennen gelernt haben, daß wir ihre Erklärung einzig in derselben Theorie zu suchen haben. Da nun aber das Licht durch den ganzen Weltraum sich bewegt und die härtesten Körper auf unserer Erde durchdringt, so muß auch die Wellenbewegung einem durch den ganzen Weltraum verbreiteten und alle Körper durchdringenden Stoffe angehören. Auf der Erde entzieht sich zwar dieser Stoff jeder sinnlichen Wahrnehmung; aber in dem Weltraume wird er durch die Bewegung der namentlich zu unserem Sonnensysteme gehörigen Kometen (Enke) mit ihrer so äußerst zarten Masse nachgewiesen. Wir nennen diesen unwägbaren Stoff Äther. Sehen wir einen Körper leuchtend, so ist das Gleichgewicht des umgebenden Äthers gestört, welcher wegen seiner äußerst großen Zartheit diese Störung äußerst leicht und schnell weiter verbreitet. Jenachdem sich die partiellen Erschütterungen des Äthers in einem Körper fortpflanzen oder nicht ist dieser durchsichtig oder undurchsichtig. In verschiedenen Körpern ist der Äther verschieden angeordnet; in den unkrystallinischen gleichmäßig, in den krystallinischen nach verschiedenen Richtungen verschieden.

Da die einzige Bedingung für die Entstehung der Lichtinterferenz darin liegt, daß das Licht aus zwei verschiedenen Quellen einander unter einem sehr spitzen Winkel trifft, so ist es gleichgiltig, welche der obigen drei Erscheinungen zum Grunde gelegt wird. Die durch die beiden Spiegel sp und sq (Fig. 216.) von a erzeugten Bilder seien a' und a'', sie liegen einander sehr nahe (so etwa, daß die Bilder einer gegen 10 Schritte entfernten Kerzenflamme nur um den Durchmesser derselben abstehen); die von den beiden Spiegeln zurück geworfenen Strahlen scheinen nicht sowohl von c und e, als vielmehr von a' und a'' zu kommen und treffen einander in einem Punkte o, welcher von a' und a'' gleich weit entfernt ist, so daß auch die Wege aco und aeo einander gleich sind. Liegt a in der Mitte zwischen a' und a'', so sind alle Punkte der oa von a' und a'' gleich weit entfernt. Wenn nun von a oder, was dasselbe ist, von a' und a'' sich das Licht deßhalb verbreitet, weil der Äther in wellenförmige Schwingungen geräth, so muß jeder Punkt der so, er mag durch a' oder a'' erregt werden, sich in einem gleichen Schwingungszustande befinden, wodurch eine Vermehrung der Lichtstärke in so entstände, was auch wirklich der Fall ist. Zieht man nämlich mit $a'o$ um a' konzentrische Kreise oder Kreisbogen wie hh in gleichen Entfernungen und nimmt an, daß die Äthertheilchen an den Stellen, wo die vollgezogenen Bogen einschneiden, ihre weitesten auf $a'o$ senkrechten Exkursionen nach der einen Richtung machen, daß dagegen in den punktirten Bogen die Theilchen am meisten nach der entgegen gesetzten Richtung ausweichen und zieht endlich um a'' mit $a''o$ auch Bogen mit eben so großen Radien; so wird man nicht nur os, sondern auch hh' als helle und dd' als dunkle Streifen erkennen, weil in allen Punkten jener Linien die Äthertheilchen, von a' und a'' angeregt, in einerlei Richtung schwingen, in diesen aber eine entgegen gesetzte Bewegung haben, und so wechseln helle und dunkle Streifen regelmäßig ab.

γ) Lichtwellendimensionen. Kennt man genau den Winkel,

welchen die beiden Spiegel bilden, die Entfernung der Lichtquelle a von ihnen und die Breite oder Entfernung eines Streifens vom nächsten; so läßt sich die ungleiche Länge der Wege, welche z. B. die von dem Spiegel sp zurück geworfenen Strahlen $a'o$, $a'd$, $a'n$ zurück legen, berechnen und es findet sich, daß ihre Differenzen ($a'o - a'd$, $a'd - a'n$ u. s. w.) wirklich einander gleich und als halbe Lichtwellen anzusehen sind.

Merkwürdig ist hierbei, daß die Streifen für die verschiedenen einfachen Farben eine verschiedene Breite haben. Betrachtet man sie nämlich durch ein rothes Glas, so sind sie breiter, als bei einem grünen, und bei diesem wieder breiter, als bei einem violetten. Daraus folgt, **daß die Wellenlänge (und die Schwingungsdauer) der farbigen Strahlen mit zunehmender Brechbarkeit abnimmt.**

Da sich daraus die absolute Größe der Wellenlänge l der verschiedenen Farben bestimmen läßt und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit g des Lichtes auch bekannt ist; so läßt sich auch die Schwingungszahl z für jede Farbe aus $g = zl$ leicht finden. Folgende Tabelle giebt die Übersicht.

Farben.	Wellenlängen in rhl. Linien.	Schwingungszahlen in der Sekunde.
Roth	0,0002845	451 Billionen
Orange	0,0002675	480 „
Gelb	0,0002528	509 „
Grün	0,0002349	547 „
Blau	0,0002179	589 „
Indigo	0,0002060	624 „
Violett	0,0001941	662 „

Wenn nach anderen Untersuchungen die Wellenlänge für Roth 0,0003048, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit 41513 deutsche Meilen in einer Sekunde angenommen wird, so ist die Schwingungszahl 476 Billionen.

Wegen der ungleichen Breite der Streifen bei Anwendung einzelner verschiedener Farben kann die Benutzung weißen Lichtes nicht rein weiße und rein schwarze Streifen ergeben; sondern es zeigen sich um so breitere farbige Saüme, je breiter die Streifen überhaupt sind. Um ihre Dimensionen genauer zu bestimmen, beobachtet man sie durch ein Vergrößerungsglas, am besten im Fernrohr.

b) Beugung des Lichtes. Die Beobachtung des ersten der drei obigen Fälle zeigt, daß die Lichtstrahlen, welche an den Rändern einer engen Öffnung hingehen, nicht gradlinig fortgehen, weil selbst bei den parallel auffallenden Sonnenstrahlen das Bild einer kreisförmigen Öffnung um so größer als diese wird, je weiter es sich von der Öffnung befindet. Dabei zeigen sich seine Ränder gefärbt, besonders, wenn man in das Lichtbündel eine ganz dünne Metallplatte, z. B. einen Staniolstreifen mit einer sehr feinen Öffnung bringt und das Bild auf einer matt geschliffenen Glastafel auffängt. Die Erscheinung zeigt sich natürlich auch, wenn man durch einen ganz feinen Spalt nach dem Lichtpunkte oder der Lichtlinie hinsieht, besonders wenn sich dieser Spalt vor dem Objektivglase eines Fernrohres befindet, dessen Axe nach der Öffnung am Fenster gerichtet ist: der weiße Streifen in der Mitte ist zu beiden Seiten gelb und roth gefärbt, dann folgt zu beiden Seiten gleichmäßig, immer schwächer werdend,

eine Reihe von Farbenbildern stets mit Roth nach außen, so aber, daß von jedem folgenden auch die folgende Farbe, von Violett beginnend, ausgelöscht ist. Die Abstände der Strahlen von gewisser Farbe wachsen in den von der Mitte aus auf einander folgenden Bildern in einer arithmetischen Reihe, deren Differenz dem ersten Gliede gleich ist. Die Ablenkungswinkel des Lichtes stehen mit den Breiten der Öffnung in verkehrtem Verhältnisse; von dem Stoffe der angewendeten Körper ist die Erscheinung völlig unabhängig. Bei Anwendung von homogenem Lichte oder von einem kleinen Prisma vor dem Okulare sieht man die Lichtlinie in der Mitte und zu beiden Seiten abwechselnd helle Streifen mit abnehmender Lichtstärke, die durch dunkle getrennt sind und für Roth die größte, für Violett die geringste Ausdehnung haben.

Wenn man in das feine Lichtbündel einen ganz schmalen undurchsichtigen Körper (z. B. eine Stricknadel) bringt, so ist sein Schatten breiter, als es nach der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes zu erwarten ist, hat in der Mitte eine Lichtlinie und außerhalb farbige Ränder; letztere verschwinden aber, so wie man das Licht nur an der einen Seite vorüber gehen läßt.

Statt einer kreisförmigen Öffnung (oder eines Lichtpunktes auf einem Metallknopfe, einer Thermometerkugel, einem innerhalb geschwärzten Uhrglase) kann man eine andere von einer beliebigen Form wählen (z. B. eine Lichtlinie, ein Parallelogramm, einen Triangel) und statt eines einzelnen schmalen Körpers eine ganze Reihe dicht neben einander liegender: ein feines Drahtgitter mit 200 bis 300 Öffnungen auf den Quadratzoll, (z. B. Frauenhofer hatte ein Gitter aus 3601 Linien, deren Mitten nur 0,0001223 p. Zoll von einander abstanden,) Flor, Mousselin, Spinnengewebe, Haare, dünnes Seidenzeug, die Fahnen von Federn kleiner Vögel, radirte Linien auf einem mit Goldblatt belegten Glase, feine Ritzen auf einer Glastafel.

Die prachtvollsten Erscheinungen zeigen sich, wenn man das Licht durch viele gleichgeformte und symmetrisch geordnete neben einander liegende kleine Öffnungen ins Fernrohr treten läßt.

Gegenstände, auf welche man mit Fernröhren visirt, erleiden eine scheinbare Ablenkung, wenn ein Körper die Visirlinie berührt.

Zur Erklärung der Beugungserscheinung folgende Andeutungen:

Trifft ein Bündel paralleler Lichtstrahlen eine Öffnung senkrecht, so gehen zwar von der Öffnung aus auch noch Strahlen in dieser Richtung fort, aber außerdem noch Systeme von parallelen Strahlen in allen anderen Richtungen, weil die Äthertheilchen an der Öffnung selbstständige Wellensysteme verbreiten. Wenn nun die Differenz im Gange zweier Strahlensysteme $\frac{2}{2}$, $\frac{4}{2}$, $\frac{6}{2}$, $\frac{8}{2}$....., also ein grades Vielfache einer halben Wellenlänge beträgt, so heben ihre Wirkungen einander auf; beträgt aber der Unterschied im Gange der äußersten Randstrahlen $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$..... oder ein ungrades Vielfache einer halben Wellenlänge, so kommt von sämmtlichen Systemen immer noch ein Theil zur Wirkung, aber ein um so geringerer, je größer der Winkelunterschied der Systeme ist, d. h. je weiter sie von der Öffnung seitwärts liegen.

Da diese Spektra für rothes Licht am breitesten, für violettes am schmalsten und für die Zwischenfarben von mittlerer Ausdehnung sind, so müssen sie bei Anwendung weißen Lichtes gefärbt und zwar auf der inneren Seite blau, auf der äußeren roth erscheinen.

Aus der Entfernung von je zwei benachbarten dunklen Streifen läßt sich bei jedem einfarbigen Lichte die Dimension der Wellen berechnen. Die Wellenlänge l ist gleich dem Produkte aus der Breite b des beugenden Spaltes und dem Sinus des Winkelabstandes w, welchen der erste dunkle Streifen von der Mitte des Bildes hat; $l = b \sin w$, also $\sin w = \frac{l}{b}$ oder die Winkelbreiten der Spektra verhalten sich umgekehrt wie die Breiten der Spalten.

VIII. Farben dünner Blättchen.

a) Im reflektirten Lichte.

Lebhafte Farben erscheinen, wenn ein Körper irgend eines Aggregatszustandes eine sehr dünne Schicht bildet; z. B. die Splitter ganz dünn geblasener Glaskugeln, eine dünne Oxydschicht auf einem Metalle, (angelaufener Stahl), altes Glas, der Opal, dünne Blättchen bei der Perlmutter oder eines Abdruckes von ihr auf schwarzes Siegellack, Zinn, Blei, roses Metallgemisch, ferner bei den Flügeln mancher Insekten, ein Tropfen ätherischen Öles auf Wasser, bei Firniß, mineralischen Auflösungen; die Seifenblasen, eine dünne Luftschicht in dem Sprunge eines dicken Glases, eines Krystalles, oder zwischen zwei Glasplatten, oder auch zwischen einer ebenen Platte und einer Glaslinse, besonders von großem Krümmungsradius (von 40 bis 50 Fuß). Im letzten Falle bilden sich Farbenringe. Ihre Untersuchung ist besonders geeignet, die Erscheinung als eine Folge der Interferenz nachzuweisen.

Wenden wir zunächst einfarbiges Licht an, so bilden sich nur helle und dunkle Ringe, deren Durchmesser für das rothe Licht am größten, für das violette am kleinsten sind, für jedes einzelne Licht werden sie nach außen zu immer schmaler, weil die Dicke der Luftschicht rascher wächst, als die Entfernung vom Berührungspunkte der Gläser. — Aus dem Krümmungsradius und der Entfernung der Mitten der einzelnen Ringe läßt sich die Dicke der zu jedem Ringe gehörigen Luftschicht finden, und daraus das Gesetz aufstellen, daß für jede bestimmte Farbe die Mitten der folgenden dunklen Ringe an Stellen sich befinden, wo die Luftschicht 2, 3, 4..... mal dicker ist, als an der dunkelsten Stelle des ersten Ringes.

Bezeichnen wir die Dicke der Luftschicht des ersten dunklen Ringes mit d (Fig. 218.), so ist sie für alle vom Mittelpunkte an

$\frac{2}{2}d$, $\frac{4}{2}d$, $\frac{6}{2}d$..... und die Dicke der dazwischen liegenden hellen mit h_1, h_2, h_3, ... bezeichneten ist

$\frac{1}{2}d$, $\frac{3}{2}d$, $\frac{5}{2}d$.....; also die Dicken der Luftschichten für die dunklen Ringe wachsen wie die graden; der hellen wie die ungraden Zahlen.

Der Grund der Erscheinung liegt darin, daß von jeder Trennungsfläche der dünnen Luftschicht Lichtwellen ausgehen, welche einander aufheben, wenn ihre Wege sich um

$\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$..... und einander verstärken, wenn sich ihre Wege um

$\frac{2}{2}$, $\frac{4}{2}$, $\frac{6}{2}$..... Wellenlängen unterscheiden. Weil nun schon in der Mitte bei o, wo die Dicke der Luftschicht Null ist, ein dunkler Fleck erscheint, so muß sich die von der entfernteren Fläche ausgehende Welle um

$\frac{1}{2}$ Welle verspäten oder es müssen die von beiden Flächen an der Berührungsstelle zurück geworfenen Wellen sich in entgegen gesetzten Schwingungszuständen befinden, indem die Oszillationsgeschwindigkeit positiv oder negativ ist, jenachdem die Lichtwelle innerhalb oder außerhalb eines dichten Mittels zurück geworfen wird, wie ja hier wirklich die Lichtwellen theils in Glas als dem dichteren, theils in Luft als dem weniger dichten an der unteren Glasfläche zurück geworfen werden.

Ganz dem ähnlich ist die Erscheinung, daß eine Elfenbeinkugel, welche eine andere ruhende berührt, entweder zurück geworfen wird oder in derselben Richtung fortgeht, jenachdem die getroffene mehr oder weniger Masse besitzt, als die stoßende; nur wenn beide Kugeln gleiche Masse haben, wird die Bewegung der ersten durch die zweite und eben solche andere fortgepflanzt, ohne daß eine Rückkehr der Bewegung statt findet, gleichwie Wellen (Licht-, Schall-) sich in einem bestimmten Mittel ohne Rückkehr fortpflanzen.

Da schon im Punkte o die von der unteren Fläche aus gehenden Wellen sich um eine halbe Wellenlänge verspäten gegen die von der oberen Fläche ausgehenden, so muß in den dunklen Stellen
d_1, d_2, d_3 ..... eine Verspätung um
$\frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}$ ..... Wellenlängen eintreten, oder die Luftschichten müssen
$\frac{2}{2}d, \frac{4}{2}d, \frac{6}{2}d$ ..... Dicke haben, wenn d die Ausdehnung einer halben Wellenlänge besitzt, und so findet es auch wirklich statt.

Bringt man statt Luft zwischen die beiden Gläser Wasser, so sind die Ringe weit enger: ihre Dicken verhalten sich zu denen bei Luft für eine bestimmte einfache Farbe wie 3 : 4 und überhaupt **verhalten sich für verschiedene Stoffe die Dicken der Ringe wie umgekehrt die Brechungsexponenten dieser Stoffe.**

Da die Dimensionen der Ringe für Wasser geringer sind, um dieselben Interferenzen hervorzubringen, so haben die Lichtwellen im Wasser eine geringere Ausdehnung, folglich auch eine geringere Geschwindigkeit, als in der Luft und **überhaupt steht die Geschwindigkeit des Lichtes in verschiedenen Mitteln im umgekehrten Verhältnisse der Brechungsexponenten.**

Da das Licht in der Luft eine Geschwindigkeit von 42000 Meilen hat, so ist sie im Wasser $\frac{3}{4} . 42000 = 31500$ Meilen.

Wendet man bei dem Durchgange des Lichtes durch eine dünne Schicht eines Körpers verschiedene Arten homogenen Lichtes an, so nehmen wirklich die Dicken der dunklen Ringe in demselben Verhältnisse ab, in welchem die Wellenlängen der verschiedenen Farben ab- und die Schwingungszahlen zunehmen. Die zwischen den dunklen Ringen liegenden hellen werden also auch um so kleiner, je brechbarer die Strahlen des angewendeten Lichtes sind, und es ist daher klar, daß bei Anwendung weißen Lichtes die helleren Zwischenraüme in verschiedenen Farben mit verschiedenen Abwechselungen erscheinen müssen.

b) **Im durchgelassenen Lichte.** Geht das Licht durch ein Mittel, so ist auch eine Interferenz möglich. Fällt (Fig. 219.) auf die dünne Schicht mnop eines durchsichtigen Körpers ein dünnes Strahlenbündel ac, so wird es theils nach bc zurück geworfen, theils nach cf gebrochen, in f wird es wieder theils zurück geworfen nach fe (und letzteres nach ek || cb

gebrochen), theils geht es durch nach fg, aber der Strahl fe erleidet bei e eine Zurückwerfung nach eh und tritt bei h gebrochen in der Richtung hi || fg heraus. So wie einerseits die zurück geworfenen Strahlen cb und ek interferiren, wenn die Dicke d der Schicht od, $\frac{2}{2}$d, $\frac{4}{2}$d, $\frac{6}{2}$d..... betrug, wobei d die Ausdehnung von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge besaß; so werden es andererseits die durchgelassenen Strahlen fg und hi, wenn die Dicke der Schichten $\frac{1}{2}$d, $\frac{3}{2}$d, $\frac{5}{2}$d..... ist, denn der Strahl hi hat wegen der zweimaligen Zurückwerfung, nämlich bei f und bei e eine Verspätung um eine ganze Welle erlitten und muß die Schicht mnop dreimal, fg aber nur einmal durchlaufen. Wenn nun die Dicke d der Schicht oder die Entfernung der beiden Flächen mn und op Null ist, so muß der Strahl hi schon um eine ganze Welle gegen den Strahl fg zurück bleiben; also da, wo das Planglas von dem Konverglase (Fig. 218.) berührt wird, muß eine Lichtverstärkung stattfinden, aber auch bei d_1, d_2, d_3....., weil die Verspätung des Strahles hi nach der Reihe $\frac{4}{2}$, $\frac{6}{2}$, $\frac{8}{2}$..... Wellenlängen beträgt. Dagegen werden die dunklen Ringe bei durchgelassenem Lichte da entstehen, wo sich beim reflektirten die hellen bildeten, wo also die Dicken der Schicht $\frac{1}{2}$d, $\frac{3}{2}$d, $\frac{5}{2}$d..... betragen, weil hier die Verspätung des Strahles hi $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$ Wellenlängen beträgt.

Durch die doppelte Zurückwerfung wird übrigens die Lichtstärke des Strahles hi geringer, als die der Strahlen fg sein, also letztere nicht völlig aufgehoben, sondern nur geschwächt werden. Deßhalb erscheinen die Farbenringe auch nicht so lebhaft, als im reflektirten Lichte, und dabei ergänzen einander in beiden Fällen die Farben der gleich weit vom Mittelpunkte entfernten Ringe, weil beim durchgelassenen Lichte die Stellen der Maxima grade auf die Minima des reflektirten fallen. Diese Ergänzungsfarben durchgelassenen Lichtes von denen reflektirten Lichtes der newtonschen Ringe zeigen sich auch an den nobilischen Ringen, welche dadurch entstehen, daß man eine Neusilberplatte mit einer dünnen Schicht einer Auflösung von Bleioxyd in Kalihydratlösung übergießt, die Platte selbst mit dem positiven Pole einer etwa zehngliedrigen Saüle verbindet und den negativen, äußerst fein ausgezogenen Polplatindraht an der Mitte der Platte in die Flüssigkeit taucht. Dabei sind die Dicken der Ringe den Kuben der Halbmesser umgekehrt proportional.

IX. Erklärung der Zurückwerfung und Brechung des Lichtes.

Aus der Wellenbewegung des Äthers bei der Fortpflanzung des Lichtes lassen sich nun auch die Erscheinungen der Zurückwerfung und Brechung des Lichtes erklären. Treffen nämlich die Wellen die Trennungsfläche zweier Mittel von verschiedener Dichtigkeit, in welchen auch der Äther ungleiche Dichtigkeit besitzen wird, so entstehen zwei neue Wellensysteme, ein reflektirtes und ein in das neue Mittel eindringendes.

1) Wenn (Fig. 220.) ad, be, cf parallel auf die Trennungsfläche rs auffallende, so nahe neben einander liegende Strahlen sind, daß ihre Gesammtwirkung als die eines Strahles angesehen werden kann, so werden in jeder, auf ad senkrechten Linie, wie dm, en, die Äthertheilchen in demselben Schwingungszustande sich befinden und man kann dm als in der Oberfläche der ankommenden Lichtwelle liegend annehmen, deren Punkte die Trennungsfläche um so später treffen, je weiter sie von d entfernt sind. Wenn der Punkt d derselben die Trennungsfläche getroffen hat, so werden die Äthertheilchen dort in der Art erschüttert, daß von d aus selbstständige

Vibrationen nach allen Richtungen in das erste Mittel mit unveränderter Geschwindigkeit zurück gehen. Dasselbe gilt von allen zwischen e und f die Trennungsfläche treffenden Theilen jener Welle. Wenn nun um e mit nf, um d mit mf Kreise, oder eigentlich Kugeln beschrieben sind, so wird m in derselben Zeit die Trennungsfläche in f erreichen, in welcher d nach der Zurückwerfung bis an die Oberfläche der Kugelwelle um d gelangt ist und ebenso n bis f, wenn e bis an die Oberfläche der um e beschriebenen Kugel gekommen ist. Aber nicht alle zwischen den Punkten d und f zerstreuten einzelnen Strahlen können einen wirksamen Eindruck machen, sondern nur diejenigen parallelen, deren Endpunkte in der durch f die einzelnen Kugelwellen berührenden Ebene liegen. Berührt fg die Kugel um d im Punkte o, so muß die mit do parallele ep (wegen $df : ef = mf : nf = do : ep$) der Radius für die Kugel um e sein und p in fg liegen, d. h. überhaupt: fg ist die Tangirende für alle Elemente der reflektirten Welle. Alle Äthertheilchen der of befinden sich in demselben Schwingungszustande, also gehören sie einer bestimmten Welle an, deren Theile sich in einer mit of parallelen Richtung so fortpflanzen, daß die Strahlen auf of senkrecht stehen. Das zwischen dh und fk befindliche Strahlenbündel kann allein einen wirksamen Eindruck hervorbringen, weil nur bei ihm die in einer bestimmten Senkrechten liegenden Äthertheilchen sich in demselben Schwingungszustande befinden. Nun ist aber auch das reflektirte Bündel gegen die Trennungsfläche unter demselben Winkel geneigt, wie das auffallende; denn $\Delta\, dmf \cong \Delta\, dof$, also $\angle\, mfd = \angle\, odf$ (ebenso $\Delta\, enf \cong \Delta\, epf$, also $\angle\, nfe = \angle\, pef$).

2) Ist die Lichtwelle in der Richtung ad (Fig. 221.) bis zu dm gekommen, so wird der Punkt d der Mittelpunkt einer in das neue Mittel eindringenden Kugelwelle, welche in derselben Zeit, in welcher m bis zu f gelangt, weniger tief eindringt, oder einen kleineren Radius do hat, als mf ist, wenn das neue Mittel stärker bricht. Ist nun von f aus die berührende Ebene fg gelegt und do der darauf senkrechte Radius, so werden die Endpunkte aller von df auf fg gefällten Senkrechten in den Oberflächen der zu den betreffenden Punkten gehörigen Kugelwellen liegen und einerlei Schwingungszustand besitzen, so daß die Welle parallel mit fg sich in der bestimmten Richtung do || ep fortpflanzt. ($df : ef = mf : nf = do : ep$, wobei ep immer den Radius der um den Treffungspunkt des Elementarstrahles gelegten eindringenden Kugelwelle vertritt und seinen Endpunkt stets in der fg haben muß.)

Da für zwei bestimmte Mittel mf und do ein bestimmtes Verhältniß besitzen und $\frac{mf}{df} = \sin\, mdf$, so wie $\frac{do}{df} = \sin\, dfg$ ist; so haben auch die Sinusse der Winkel, welche der einfallende und gebrochene Strahl mit der Brechungsfläche, also auch die Sinusse des Einfalls- und Brechungswinkels ein bestimmtes Verhältniß, wie wir dies schon früher aus der Erfahrung kennen gelernt haben.

Auch die Schallwellen erleiden beim Übergange in ein neues Mittel auf gleiche Weise eine Ablenkung von ihrer Bahn und können z. B. durch große Linsen aus Kollodiumhaütchen, die man mit Kohlensaüre gefüllt hat, wie die Lichtwellen gesammelt werden, so daß man an den betreffenden Stellen hinter der Linse den Schall verstärkt wahrnimmt.

X. Polarisation.

a) **Polarisation überhaupt.** Wenn man die von irgend einer Fläche, besonders einer spiegelnden (nur nicht von Metall) zurückgeworfenen

Lichtstrahlen durch einen zweiten Spiegel unter demselben Winkel auffängt und nach dieser Zurückwerfung beobachtet, so zeigen sie bei der Drehung des zweiten Spiegels unter Festhaltung gleicher Einfalls- und Reflexionswinkel eine veränderliche Intensität, die um so schärfer hervortritt, je mehr sich jene Winkel bei einer bestimmten Substanz der Spiegel einem bestimmten Werthe nähern.

Nimmt man, um alles fremdartige Licht abzuhalten, eine auf der Rückseite geschwärzte Glasplatte ab (Fig. 222.), läßt ein dünnes Bündel Lichtstrahlen in der Richtung cd so auffallen, daß der Neigungswinkel adc = 35° 25′ ist, so ist auch edb = 35° 25′; ist nun fg eine zweite derartige Glasplatte und zunächst mit ab parallel gelegt, so sind auch die Neigungswinkel fed und geh 35° 25′. Bei dieser Lage der Spiegel und Lichtstrahlen wird der Strahl eh die größte Intensität besitzen, die er unter diesen Umständen haben kann. Dreht man jetzt den Spiegel fg so, daß er mit dem auf ihn fallenden Strahle de stets denselben Winkel bildet, so wird nach einer Drehung um 90° das von ihm zurück geworfene Licht verschwunden sein; bei weiterer Drehung erscheint es wieder, nimmt allmählig an Stärke zu, bis es bei einer Drehung um neue 90° (im Ganzen 180°) wieder seine größte Stärke erreicht hat; dann nimmt es für die nächste Drehung bis zu 90° wieder ab, so daß es nach einer Gesammtdrehung um 270° verschwunden ist und endlich für die letzten 90° wieder an Stärke zunimmt.

Den ersten Spiegel ab nennt man den P o l a r i s a t i o n s -, den zweiten fg den Z e r l e g u n g s s p i e g e l; wenn das durch einen Spiegel (ab) zurück geworfene Licht nach seiner Zurückwerfung von einem anderen (fg) nach Verschiedenheit der Lage, in der man es gegen den vom Polarisationsspiegel reflektirten Strahl (de) betrachtet, eine verschiedene Stärke zeigt, so nennt man es p o l a r i s i r t. Der von einem Spiegel zurück geworfene Lichtstrahl wird um so besser polarisirt, oder der Unterschied zwischen dem Maximum und Minimum der Lichtstärke des vom Zerlegungsspiegel zurück geworfenen polarisirten Strahles ist um so größer, je mehr die Einfalls- und Reflektionswinkel bei einem gewissen Stoffe der Spiegel sich einem gewissen Werthe (beim Glase 35° 25′) nähern; dieser Winkel heißt der P o l a r i s a t i o n s w i n k e l und die Ebene des polarisirten (von dem Polarisationsspiegel zurück geworfenen) Strahles, worin dieser von dem Zerlegungsspiegel am vollständigsten zurück geworfen wird, die P o l a r i s a t i o n s e b e n e.

Man kann nun das Polarisationsgesetz so ausdrücken: V o l l s t ä n d i g p o l a r i s i r t e s L i c h t z e i g t s i c h a m s t ä r k s t e n, w e n n d i e E i n f a l l s e b e n e u n d d i e P o l a r i s a t i o n s e b e n e z u s a m m e n f a l l e n; e s z e i g t s i c h a m s c h w ä c h s t e n, w e n n d i e s e E b e n e n a u f e i n a n d e r s e n k r e c h t s t e h e n.

Bei genauer Vergleichung des Polarisationswinkels der verschiedenen Materien mit ihren Brechungswinkeln zeigt sich das durchgreifende Gesetz, d a ß f ü r e i n e n b e s t i m m t e n K ö r p e r mp (Fig. 223.) d e r r e f l e k t i r t e S t r a h l cg a u f d e m g e b r o c h e n e n cd b e i d e r v o l l s t ä n d i g e n P o l a r i s a t i o n s e n k r e c h t s t e h t, daß also der Polarisationswinkel derjenige ist,

für welchen der reflektirte Strahl auf dem gebrochenen rechtwinklig ist (der Polarisationswinkel eines Mittels bildet mit dem Brechungswinkel stets 90°)

Es läßt sich demnach aus dem Brechungsexponenten einer Substanz ihr Polarisationswinkel finden. Da nämlich die Winkel $b + s = R = s + r$ sind, also $b = r$ ist, oder der Brechungswinkel b ($= r$) den Einfallswinkel e zu einem rechten ergänzt, da ferner der Brechungsexponent $n = \frac{\sin e}{\sin b}$, also auch $= \frac{\sin e}{\cos e} = \text{tg} e$ und somit $n = \text{tg} e$ ist, so ist für eine bestimmte Substanz aus n auch e, folglich auch $90° - e$, d. i. der Polarisationswinkel r bekannt. — Der Brechungswinkel ist für verschiedene Farben verschieden, also auch der Polarisationswinkel; daher wird weißes Licht bei der Polarisation auch nie vollkommen verschwinden; dazu kommt noch die unvollkommene Zurückwerfung selbst bei den vollkommensten Spiegeln.

Aus dem letzten Gesetze würde sich ergeben, daß, wenn gebrochene Strahlen auch wie reflektirte die Eigenschaften polarisirter zeigten, die Polarisationsebenen beider auf einander senkrecht stehen müßten, und in der That ist dieses der Fall, wobei die Polarisation mit Zunahme der Anzahl der Brechungsflächen bis zu einer gewissen Gränze kräftiger wird; acht bis zehn Glasplatten, durch welche man einen Lichtstrahl unter dem Polarisationswinkel gehen läßt, bewirken eine ziemlich vollständige Polarisation.

Neben diesen Thatsachen ist noch wichtig, daß zwei polarisirte Strahlen einander nicht interferiren, wenn die Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen.

Wenn wir nun das Gesagte zusammen fassen, so läßt sich auf das Wesen der Polarisation der Schluß ziehen, daß sie in einer Vibration des Äthers nur in einer bestimmten Ebene, die senkrecht auf der Polarisationsebene ist, besteht und daß die Schwingungen nicht in der Richtung der Lichtstrahlen, sondern auf ihnen senkrecht und bei einem durch Reflexion polarisirten Strahle mit der Ebene des Polarisationsspiegels parallel statt finden.

Noch einen direkten Beweis dafür s. Poggendorffs Annalen 1852. Nr. 5. S. 131.

Bei nicht polarisirtem Lichte geschehen die Schwingungen gleichmäßig vertheilt in allen verschiedenen Ebenen. Polarisirte Strahlen, d. h. solche, bei welchen der Äther nur in einer auf der Richtung des Strahles senkrechten Ebene schwingt, affiziren unser Auge dann nicht, wenn die Schwingungen in der Richtung der Augenaxen statt finden; aber der Lichteindruck wird um so stärker, je mehr die Richtung der Schwingungen der auf der Augenaxe senkrechten Lage sich nähern.

b) Polarisation des Turmalins. Unter den Krystallen hat vorzüglich der Turmalin die Eigenschaft, polarisirtes Licht als solches, wie beim Zerlegungsspiegel nach seiner Zurückwerfung, so bei ihm nach seinem Durchgange erkennen zu lassen. Schleift man nämlich dünne Plättchen, deren Hauptflächen mit der krystallographischen Axe des Turmalins parallel sind, und legt sie so, daß die krystallographische Hauptaxe senkrecht auf der Polarisationsebene des auffallenden Strahles steht, also die Schwingungen des polarisirten Strahles parallel mit der Hauptaxe statt finden; so zeigt dieser nach dem Durchgange das Maximum der Intensität (wie wenn der Zerlegungs- und Polarisationsspiegel parallel sind). Fällt

aber die Axe in diese Ebene, so zeigt der Strahl das Minimum der Intensität.

Eine so geschliffene Turmalinplatte ist also ein sehr bequemes Mittel, um zu untersuchen, ob Licht polarisirt ist oder nicht. Zeigt das Licht bei der Drehung der Platte in ihrer eigenen Ebene um 360° eine unveränderliche Intensität, so ist es nicht polarisirt. Aber geht gewöhnliches Licht durch sie, so wird es dadurch in der Art polarisirt, daß seine Polarisationsebene auf der krystallographischen Hauptaxe senkrecht steht und kann als solches durch eine zweite ebenso geschliffene Platte erkannt werden, wobei das Licht verschwindet, wenn die Axen der Krystalle auf einander senkrecht stehen.

c) Doppelbrechung und Polarisation. Eine eigenthümliche Doppelpolarisation und Doppelbrechung findet bei manchen anderen Krystallen, besonders dem Kalkspathe statt. Legt man ein Kalkspathrhomboäder (Fig. 224.) auf eine gezeichnete grade Linie mn so, daß diese vor dem Krystalle überragt, so sieht ein senkrecht über mn befindliches Auge von dem durch den Krystall bedeckten Stücke der mn zwei Bilder, das eine stets in der Richtung der mn, das andere nur dann auch in ihr, aber seitwärts verschoben, wenn mn in der Ebene der Hauptaxe oder der graden Linie liegt, welche die Spitzen der beiden stumpfen Ecken des Rhomboäders verbindet; in jeder anderen Lage ist aber das zweite Bild jenseits oder diesseits der mn. Dreht man den Krystall über der Linie, so bewegt sich das zweite Bild von oder zu dem ersten jenseits oder diesseits der mn und erreicht beiderseits das Maximum der Entfernung nach 90° Drehung. Die Strahlen des einen Bildes bleiben demnach in der Einfallsebene, wie es bei der gewöhnlichen Brechung geschieht; die des anderen aber nicht und haben eine ungewöhnliche, extraordinäre Brechung erlitten — ordinäre, extraordinäre Strahlen.

Um den Vorgang einfacher darzustellen, kann man die eine Fläche mn (Fig. 225.) des Rhomboäders mit einem dünnen undurchsichtigen Körper belegen, in welchem sich eine feine Öffnung c befindet und die entgegen gesetzte mit einem durchscheinenden Papiere; läßt man dann durch jene Öffnung Sonnen- oder Lampenlicht, so zeigen sich auf dem Papiere oder auf einer dunklen in einiger Entfernung gehaltenen Fläche op zwei Bilder α' und α''. Ebenso sieht man einen auf weißes Papier gemachten schwarzen Punkt a (Fig. 226.), auf welchem der Krystall liegt, durch eine kleine Öffnung c, welche sich in einer undurchsichtigen Belegung der oberen Fläche befindet, nach zwei verschiedenen Richtungen cb und cd. Ein Auge in der Richtung cb sieht das Bild von a in α', und ist das Auge in der Richtung von cd, so sieht es ein zweites Bild in α''. Nimmt man die obere Belegung weg, so sieht man beide Bilder zugleich, wobei sich α'' um α' im Kreise dreht, wenn man den Krystall über dem Punkte a so dreht, daß das Auge, der Punkt a und ein anderer auf der oberen Fläche stets in derselben graden Richtung liegen.

Hält man den Krystall dem Auge recht nahe und schiebt auf der entgegengesetzten Fläche langsam ein Blatt Papier u. dergl. vor, so wird von den zwei Bildern eines Punktes das dem Blatte zunächst liegende nicht zuerst bedeckt, sondern das entferntere; also kreuzen die Strahlen von den beiden Punkten einander im Krystalle.

Es giebt fehlerhafte Augen, welche ohne alle Hilfsmittel einen Punkt doppelt sehen; der eine (der mattere) dreht sich aber nur dann um den anderen,

wenn man das Auge selbst dreht. Bisweilen ist das Doppeltsehen ein vorüber gehend krankhafter Zustand.

Da bereits feststeht, daß die Lichtwellen, wenn sie in ein stärker brechendes Mittel treten, eine geringere Dimension, also auch eine geringere Geschwindigkeit besitzen, so folgt aus den obigen Erscheinungen, daß das Licht den Kalkspath mit einer zweifachen Geschwindigkeit durchdringt, daß also der Äther in dem Kalkspathe nach verschiedenen Richtungen auch eine verschiedene Dichtigkeit und Elastizität besitzen muß.

Wenn das Licht durch Belegung zweier entgegengesetzten Flächen des Krystalls mit undurchsichtigen Platten, in denen eine Öffnung ist, genöthigt wird, an einem bestimmten Punkte a (Fig. 226.) ein und an einem anderen c auszutreten, so erfolgt der Austritt deßhalb nach zwei verschiedenen Richtungen, weil das Licht den Weg ac mit zweifacher Geschwindigkeit durchlauft; der am stärksten abgelenkte (der ordinäre) Strahl cd rührt von dem im Krystalle mit geringerer Geschwindigkeit fortgepflanzten her. Die Geschwindigkeit selbst wird durch Aufsuchung des Brechungsexponenten mittelst eines Prismas aus Kalkspath, dessen Brechungskante mit der krystallographischen Hauptaxe parallel ist, ermittelt. Für das am meisten abgelenkte Bild ist der Brechungsexponent konstant **1,654**; für das andere extraordinäre findet man einen Werth zwischen **1,654** und **1,483**, so daß sich die Strahlen für dieses nicht nach allen Richtungen mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzen; am schnellsten, wenn die Richtung der Strahlen senkrecht auf der krystallographischen Hauptaxe ist; je mehr sich dieselbe der Hauptaxe nähert, desto geringer wird die Geschwindigkeit, und in der Richtung der krystallographischen Hauptaxe ist sie die der ordinären Strahlen, so daß in ihr, der optischen Axe, keine doppelte Brechung statt findet. Schneidet man daher den Krystall durch zwei auf dieser Axe senkrechte Ebenen, so zeigt sich ein durch sie gegangener Strahl als einfach.

Untersucht man ferner beide Strahlen eines doppelt brechenden Krystalles mit einer Turmalinplatte, so zeigen sie sich beide polarisirt. Hat man aus dem Krystall ein Prisma gefertigt, dessen brechende Kante mit der optischen Axe parallel ist und hält man die Brechungskante lothrecht, so sieht man von einem dahinter befindlichen Gegenstande, z. B. einer Flamme, zwei Bilder neben einander; bringt man nun zwischen das Auge und Prisma eine Turmalinplatte so, daß ihre krystallographische Hauptaxe der Kante des Prismas parallel, also auch lothrecht liegt, so verschwindet das eine (ordinäre) Bild; liegt aber diese Axe wagerecht, so verschwindet das andere. Da nun aber die Turmalinplatte nur solche Strahlen durchläßt, deren Schwingungen seiner Hauptaxe parallel gehen, so finden im Kalkspathprisma die Äthervibrationen für den einen (den extraordinären) Strahl parallel mit der optischen Axe, für den anderen senkrecht auf ihr statt.

Legt man auf einen Kalkspathkrystall einen andern so, daß ihre Hauptschnitte parallel liegen, so sieht man von einem leuchtenden Punkte zwei Bilder so, als ob beide Krystalle nur einen bildeten; stehen diese Schnitte auf einander senkrecht, so erleidet der im ersten ungewöhnlich gebrochene Strahl im zweiten die gewöhnliche Brechung und der in jenem gewöhnlich gebrochene in diesem die ungewöhnliche, so daß wieder nur zwei Bilder entstehen. Aber bei

jeder anderen Lage wird jeder der beiden Strahlen des ersten Krystalles zerlegt, so daß vier Bilder entstehen, welche bei einer Neigung der beiden Schnitte von 45° gleiche, bei jeder anderen eine verschiedene Intensität haben.

Fängt man in der Luft den von Glas unter 35° 25′ zurück geworfenen Lichtstrahl mit einem Doppelspathe auf, so erleidet der Strahl in ihm nur die gewöhnliche Brechung, wenn der Hauptschnitt mit der Reflexionsebene parallel liegt; nur die ungewöhnliche, wenn beide auf einander senkrecht stehen, während in jeder anderen Lage eine doppelte Brechung und bei 45° Neigung eine gleiche Lichtstärke beider Strahlen eintritt. Demnach hat der von Glas zurück geworfene Strahl die Eigenschaft des im Doppelspathe auf die gewöhnliche Weise gebrochenen, der im Glase gebrochene die des ungewöhnlich gebrochenen.

Im Kalkspathe giebt es nur eine optische Axe, in deren Richtung die Geschwindigkeit aller Lichtwellen dieselbe bestimmte ist; alle Krystalle, in denen dieses der Fall ist, heißen einaxige und sind dabei entweder negativ oder positiv einaxig, jenachdem der ordinäre Strahl stärker oder schwächer gebrochen wird, als der extraordinäre. Es giebt aber auch Krystalle, in welchen die Lichtwellen nach zwei Richtungen mit derselben Geschwindigkeit sich fortpflanzen oder welche zwei optische Axen haben.

Negativ einaxig sind z. B.: Turmalin, Saphir, Rubin, Smaragd, Chlorcalcium, Honigstein, Blutlaugensalz; positiv einaxig: Zirkon, Quarz, Eis, Zinnstein. Zu den zweiaxigen gehören: Salpeter, Aragonit, Glimmer, schwefelsaure Magnesia, Schwerspath, Zucker, Gyps, Feldspath.

Merkwürdig ist die Eigenschaft mancher Körper z. B. des Glases, daß sie erst durch besondere Umstände, namentlich durch einseitigen Druck oder durch ungleiche Erwärmung, doppelbrechend werden, indem sie dadurch nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Anordnung der Theilchen erhalten, wie es bei Krystallen der Fall ist.

Ein Kalkspathprisma könnte in dem Polarisationsapparate statt des Zerlegungsspiegels bequem angewendet werden, wenn es nur nicht zwei polarisirte Bilder zeigte. Aber durch Zusammensetzung zweier Prismen M und N (Fig. 215.) mittelst kanadischen Balsams lassen sich von den durch die Fläche bd eingedrungenen Strahlen die stärker brechbaren ordinären an der Fläche bb′ durch gänzliche Zurückwerfung beseitigen, so daß in das Prisma N nur die polarisirten extraordinären eindringen und an der Fläche b′e hervorkommen. Nikols Prisma.

Man bemerkt durch ein solches nikolsches Prisma wie durch eine Turmalinplatte leicht, daß das Licht der Wolken meist polarisirt ist; eben so das von einer Wasserfläche zurück geworfene, welches hindert, daß man schräg in das Wasser sehen und die Gegenstände in ihm erkennen kann. Hält man ein solches Prisma vor das Auge, so kann man diese störenden Strahlen von dem Auge abhalten und so in das Wasser sehen. — Die Stärke einer Zuckerlösung erkennt man auch durch das polarisirte Licht. — Das selbst von den besten Spiegeln zerstreut zurück geworfene Licht ist polarisirt; das von rauhen Flächen nur dann, wenn es schief auffällt und um so mehr, je schiefer es einfällt. Betrachtet man ein mit glänzendem durchsichtigen Firniß überzogenes Gemälde durch ein nikolsches Prisma, so verschwinden die störenden polarisirten Strahlen des Firnisses und man sieht das Gemälde in jeder Stellung deulich. Läßt man umgekehrt (gradlinig) polarisirtes Licht senkrecht auf eine rauhe Fläche fallen, so erscheint es nach der Zerstreuung als gewöhnliches Licht — es ist depolarisirt; fällt es dagegen auf eine Spiegelfläche, so bleibt es polarisirt. Man kann natürliches Licht durch Depolarisation darstellen, wenn man polarisirte Strahlen von der inneren Wand eines Hohlkegels aus Glas nach einem Punkte zurück werfen läßt.

Interessant sind noch die zum Theil sehr prachtvollen Farbenerscheinungen doppelt brechender Krystalle, wenn man aus ihnen ganz dünne Blättchen macht, oder wenn man stark erhitzte und dann schnell abgekühlte Glasplatten nimmt. Man bringt einzelne oder gekreuzte zarte Blättchen (von Gyps besonders) zwischen die parallelen oder gekreuzten Spiegel des Polarisationsapparates, wobei die Farben des einen Falles die komplementären des anderen sind und sich dabei eine vollständige Analogie mit den Farben dünner Schichten zeigt, so daß diese Erscheinungen nur aus der Interferenz der Lichtwellen erklärbar sind und sich auch wirklich trotz ihrer großen Mannigfaltigkeit mit mathematischer Schärfe darauf zurück führen lassen.

Auch durch Polarisationsfarben läßt sich Weiß darstellen.

d) Zirkularpolarisation.

α) Selbstständige. Es giebt endlich Körper, welche die Eigenschaft besitzen, daß sie die Polarisationsebene des durch sie gehenden polarisirten Strahles drehen. Geht von b aus (Fig. 227.) ein polarisirter Strahl, welcher bei einer bestimmten Lage einer in c gehaltenen Turmalinplatte das Maximum seiner Intensität zeigt, so wird dieses, wenn der Strahl durch eine senkrecht zur Axe geschliffene Quarzplatte (Bergkrystall) sn zu gehen genöthigt wird, erst dann wieder erscheinen, wenn man die Turmalinplatte dreht. Muß man bei dieser Stellung des Auges vor c in der Richtung der Pfeile, also nach rechts drehen, so ist der Krystall ein rechts drehender, bei der Drehung der Turmalinplatte nach links heißt der Krystall auch ein links drehender.

Wäre die Endfläche s mit einer undurchsichtigen Spiegelfläche belegt und dadurch der Strahl wieder nach b hin zurück zu gehen genöthigt, so würde derselbe auf dem Rückwege für ein in b befindliches Auge wieder nach rechts, also den Pfeilen entgegen gedreht und somit eine Drehung überhaupt gar nicht wahrnehmbar sein.

Es ist dabei merkwürdig, daß die Farben des prismatischen Farbenbildes nach der Reihe von Roth bis Violet bei einer Drehung des Zerlegungsspiegels oder der statt seiner angewendeten Turmalinplatte nach rechts oder nach links entstehen, jenachdem der Krystall ein rechts oder links drehender ist und daß die Krystallplatte in keiner Stellung des Zerlegungsspiegels ganz hell oder ganz dunkel erscheint. Der Grund davon liegt in der ungleichen Brech- und Drehbarkeit der verschiedenen Farben. Beobachtet man das Bild mit einfarbigen Gläsern, so findet man bei Anwendung einer Krystallplatte von 1 Millimeter (= 0,4588 Linien) Dicke die Drehung für

Roth 19°, Orange 21°, Gelb 23°, Grün 28°, Blau 32°,
Indigo 36°, Violet 41°,

d. h. man muß den Zerlegungsspiegel um die angegebene Anzahl von Graden drehen, wenn man in den Polarisationsapparat eine solche Platte einschaltet, damit wieder das Maximum der Lichtintensität eintrete, wofern es ohne Platte bei 0° vorhanden war. Das zweite Maximum wird für Roth bei 19° + 180°, für Orange bei 21° + 180° u. s. w., die Minima für Roth bei 19° + 90° und 19° + 270°, für Orange bei 21° + 90° und 21° + 270° u. s. w. statt finden.

Wird das Bild bei Anwendung einer so dünnen Platte ohne Benutzung farbiger Gläser beobachtet, so kann es nie farblos erscheinen, indem die Maxima und Minima der verschiedenen Farben niemals zusammen treffen, also der Zerlegungsspiegel in keiner Stellung alle prismatischen Farben in gleichem Verhältnisse reflektiren kann.

Endlich wächst mit zunehmender Dicke der angewendeten Krystallplatte auch der Drehungswinkel in gradem Verhältnisse, woraus sich ergiebt, daß allzu dünne und allzu dicke Platten fast ohne Wirkung sind, da in jenem Falle die Maxima und Minima für alle Farben einander allzu nahe liegen und in diesem Falle wegen des mit zunehmender Dicke der Platte wachsenden Drehungsbogens jeder Farbe mehre zu Weiß einander ergänzende Farben gleichzeitig die Maxima, andere die Minima erreichen, also das Licht troß der Drehung des Spiegels gleich hell und weiß bleibt.

Bei der Zirkularpolarisation muß zufolge dieser Beobachtungen der Äther in schraubenförmigen Windungen um die Axe des Krystalles schwingen, wie wenn man eine Schraubenspindel um ihre Axe dreht.

β) Durch Elektromagnetismus erzeugte. Eine andere Drehung der Polarisationsebene wird durch starke Elektromagnete oder durch elektrische Ströme hervorgebracht. Ist bc (Fig. 227.) ein polarisirter Strahl und hält man in c ein nikolsches Prisma so, daß der Strahl verschwindet, so wird die Erscheinung nicht geändert, wenn auch der polarisirte Strahl durch ein Stück Kiesel-borsaures Bleioxyd sn (auch borsaures Bleioxyd, Flintglas, Steinsalz, Wasser, Alkohol, besonders reine Bleisilikate, Äther u. a.) geht; hält man aber diesem Körper einen starken Elektromagneten NS so zur Seite (oder steckt man ihn in einen hohlen Magneten), daß die die Magnetpole verbindende grade Linie mit dem durch den Körper gehenden polarisirten Strahle parallel läuft, so sieht das Auge in c eine Ablenkung der Polarisationsebene nach rechts, also in der Richtung des positiven Stromes, welcher in der Richtung der Pfeile sn umkreisen würde, wenn es weiches Eisen wäre. Daher tritt auch eine Ablenkung der Polarisationsebene nach derselben Seite ein, wenn man, statt einen Elektromagneten anzuwenden, den positiven Strom in einer von c aus nach rechts gewundenen Spirale um sn leitet, wodurch sn, wenn es aus weichem Eisen wäre, in derselben Weise zu einem Magneten würde, wie es vorhin durch den Elektromagneten geschehen wäre. Kehrt man nun die Richtung des Stromes um, man mag einen besonderen Elektromagneten NS oder eine um ns gewundene Spirale anwenden, so wird auch die Polarisationsebene nach der entgegen gesetzten Seite gedreht; die Unterbrechung des Stromes führt auch die Polarisationsebene in die ursprüngliche Lage zurück.

Wie lange der Strom gegen sn dieselbe Lage behält, so lange ist auch die Ablenkung dieselbe, so daß, wenn der Strahl von c nach b kommt, das Auge in b eine Drehung nach links, wenn er aber von b nach c kommt, das Auge in c eine Drehung nach rechts bemerkt. Daraus folgt also, daß die Polarisationsebene stets nach der Richtung gedreht wird, in welcher der positiv elektrische oder magnetoelektrische Strom geht.

Der Grund dieser Erscheinung liegt wohl nicht in der Einwirkung

des Magnetismus auf das Licht unmittelbar, sondern in seinem vorüber gehenden Einflusse auf die Anordnung der kleinsten Massentheile (nämlich einer Abstoßung der Axenrichtung, worin das Licht keine doppelte Brechung erleidet), wie sie beim Bergkrystalle nach der Richtung seiner Axe bleibend vorhanden ist. Die Drehung nimmt bei Gläsern mit einem magnetischen Metalle (Eisen, Kobalt, Nickel) oder mit Borsaüre oder einem Alkali bei zunehmender Glasdicke auch zu so lange sie nur noch hinreichend durchsichtig sind.

Wenn man zwei entgegen gesetzte Endflächen ab und cd (Fig. 228.) eines schwach drehenden Körpers bis auf zwei kleine Stellen bei a und c mit Spiegelflächen belegt und dadurch einen polarisirten Strahl nöthigt, den Körper wiederholt, 3, 5, 7 .... mal, zu durchlaufen, so wird auch die Drehung der Polarisationsebene 3, 5, 7 .... mal größer, als wenn der Strahl den Körper nur einmal durchliefe und so wird die Drehung selbst in einem schwach drehenden Mittel auch durch schwächere Magnete sichtbar und leicht meßbar gemacht.

XI. Chemische Wirkungen des Lichtes.

Das Licht ist nicht minder eine Bedingung des Lebensprozesses der Pflanzen und Thiere wie die Wärme; denn ohne Licht gedeihen weder Pflanzen noch Thiere. Werden Pflanzen gezwungen im Dunkeln zu wachsen, so erzeugen sich in ihnen lebensfeindliche Stoffe, Gifte. Da der Lebensprozeß vorzugsweise ein stets lebendiger Chemismus ist, so läßt sich vermuthen, daß das Licht bei chemischen Prozessen ein nicht unwichtiger Faktor ist; und in der That weiset die Chemie unzählige Fälle nach, in denen das Licht Verbindungen und Zersetzungen bewirkt, bei denen auch elektrische Erscheinungen vorkommen.

Leitet man in ein weißes Glasgefäß Wasserstoff zu Chlorgas, so bleiben sie im Finstern unverbunden, vereinen sich beim Tageslichte allmählich, beim Sonnenlichte plötzlich mit einer heftigen Explosion. — Das von Wasser absorbirte Chlorgas entzieht selbst dem Wasser allmählich seinen Wasserstoff; bildet Salzsaüre und Sauerstoff entweicht. — Phosphor verbindet sich unter Wasser im Sonnenlichte mit Sauerstoff (oxydirt); konzentrirte Salpetersaüre verliert ihn zum Theil, so daß aus ihr Untersalpetersaüre wird; weiße Salpetersaüre wird gelb; eine Auflösung des salzsauren Eisens in Schwefeläther (Eisenäther) wird im Lichte weiß, im Dunkeln gelb u. s. w. — Weißes Chlorsilber wird durch Licht schwarz. Läßt man aber das Farbenspektrum eines Prismas auf einen mit Chlorsilber überzogenen Papierstreifen wirken, so zeigt sich die Wirkung in den violetten Strahlen und selbst darüber hinaus am größten, gegen das rothe Ende wird sie immer schwächer und in den rothen Strahlen selbst nach längerer Zeit und Konzentrirung mittelst einer Sammellinse kaum merklich. Eben so sind auch die rothen Strahlen nicht im Stande, das Chlorgas mit dem Wasserstoffgase zu verbinden; ist aber durch das blaue und violette Licht eine chemische Wirkung eingeleitet, so sind rothe und gelbe Strahlen im Stande sie fortzuführen.

Leblose organische Stoffe werden unter dem Einflusse des Lichtes zersetzt: ihr Kohlenstoff und Wasserstoff vereinigt sich mit dem Sauerstoffe der atmosphärischen Luft.

Bleichen von Leinwand, Seide, Knochen; grüne, durch Weingeist aus Kirschen- u. a. Blättern erhaltene Tinkturen werden durch die Sonnenstrahlen bald gebleicht.

Lebende Pflanzen, namentlich die Blätter, absorbiren die Kohlensaüre aus der Atmosphäre, zerlegen sie, behalten den Kohlenstoff zurück, während sie den Sauerstoff ausathmen. (Die Thiere absorbiren aus der atmosphärischen Luft den Sauerstoff und athmen die Kohlensaüre aus).

Dies läßt sich durch den Versuch bestätigen: Bringt man nämlich einen frischen grünen Zweig unter eine weiße Glasglocke, welche Wasser mit Kohlensaüre enthält, so wird letztere dem Wasser entzogen, Sauerstoffgas setzt sich an den Blättern ab und steigt in den oberen Theil der Glocke. Im Finstern findet dieses nicht statt. Im Dunkeln wachsende Pflanzen ziehen nach dem Lichte hin; großer Lichtreiz vieler Pflanzen, sowohl an Blüthen, als an Blättern, während verschiedener Tageszeiten sichtbar.

Interessant und praktisch wichtig ist das Verfahren durch den Einfluß des Lichtes von allen Gegenständen Bilder zu bereiten (Daguerreotyp-Bilder). Es wird nämlich eine wohl polirte auf der einen Seite schwach versilberte Kupferplatte über eine Porzellanschale gelegt, in der sich eine wäßrige Auflösung von Chlorjod (auch mit einem kleinen Beisatze von Bromjod) befindet, dessen Dämpfe in kurzer Zeit einen goldgelben Überzug von Jodsilber bilden. Nun wird mit der Platte, ohne sie inzwischen ans Licht zu bringen, das möglichst scharfe durch eine Konverlinse erzeugte Bild eines unbewegten Gegenstandes eine kurze Zeit ($\frac{1}{2}$ bis 2 Minuten) aufgefangen und dann die Platte vorsichtig den Quecksilberdämpfen (bei 50 bis 55° R.) ausgesetzt, welche man im Finstern über einer mäßig erwärmten frisch amalgamirten Metallplatte entwickelt. Dadurch, daß sich die Quecksilberdämpfe in äußerst zarten Kügelchen nach dem Verhältnisse des Lichteindruckes auf der Platte kondensiren, wird erst das Bild sichtbar. Um nun die Platte gegen ferneren Lichteindruck zu schützen, muß das Jodsilber von den Stellen, an welchen sich kein Quecksilber angesetzt hat, durch eine Auflösung von unterschwefligsaurem Natrum (1 Quentch. N. in 2 Loth Wasser) abgelöst, durch heißes destilirtes Wasser abgespühlt und durch Wärme schnell getrocknet werden.

Wird die Platte zu lange dem Lichte ausgesetzt, so zeigt es unmittelbar seine Wirkung, indem die beleuchteten Stellen des Bildes um so schwärzer werden, je intensiver das Licht war — negatives Bild. Es giebt eine Methode, die durch Bromkalium fixirten negativen Bilder zur Darstellung mehrer positiver zu verwenden. — Wenn Gegenstände verschiedene Farben besitzen, so müssen die von ihnen erzeugten Bilder um so unvollkommener werden, je verschiedenartiger die verschiedenen Farben wirken; rothe und namentlich grüne Strahlen zeigen auf der jodirten Platte fast gar keine Wirkung.

Man hat auch Papier (jodirtes, kalotypes) angefertigt, um darauf Lichtbilder zu erzeugen. Man bestreicht Schreibpapier auf der einen Seite mit einer schwachen Lösung von salpetersaurem Silberoxyd (100 Gr. Salz in 12 Loth Wasser), trocknet es, taucht es dann in eine wäßrige Lösung von Jodkalium (500 Gr. in 30 Loth dest. Wasser), zieht es durch Wasser, trocknet es und bewahrt es für den Gebrauch im Dunkeln auf. Unmittelbar vor seiner Anwendung wird es mit einer Flüssigkeit bestrichen, die zu gleichen Raumtheilen aus einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd (100 Gr. in 4 Loth dest. Wasser), welcher man $\frac{1}{6}$ Volumen konzentrirte Essigsaüre zugesetzt hat und aus einer gesättigten Lösung von Gallussaüre besteht; dann läßt man das Licht auf das Papier nur kurze Zeit einwirken und so wie man dann das Papier noch einmal mit dieser Flüssigkeit bestreicht,

zeigt sich unter gelinder Erwärmung ein negatives Bild, was man zur Fixirung mit einer Lösung von Bromkalium (100 Gr. in 18 Loth dest. Wasser) bestreicht. Dieses Bild legt man auf ein zweites kalotypes Papier zwischen zwei Glastafeln, wodurch unter Einwirkung des Lichtes auf letzterem ein positives Bild entsteht. Photographie.

XII. Zusammen gesetzte optische Werkzeuge.

Die verschiedenen Arten von Linsen hat man entweder für sich oder in Verbindung mit ebenen und Kugelspiegeln angewendet, um zusammen gesetzte Apparate für verschiedene Zwecke zu erhalten.

a) Aus Linsen zusammen gesetzte Apparate.

1) Das zusammen gesetzte Mikroskop. Eine einzelne Linse von kurzer Brennweite dient schon dazu, um kleine Gegenstände vergrößert zu erblicken, weil man sie dem Auge bedeutend näher bringen kann, wenn nur ihr Bild in der deutlichen Sehweite ist. Lupen, einfache Mikroskope, vergrößern so vielmal, als die Brennweite der Linse in der zum deutlichen Sehen nöthigen Entfernung enthalten ist; das kurzsichtige Auge muß den Gegenstand näher an die Linse bringen, als das weitsichtige; dieselbe Linse vergrößert für ein weitsichtiges Auge mehr, als für ein kurzsichtiges.

Da aber mit wachsender Vergrößerung des Bildes seine Lichtstärke und Deutlichkeit abnimmt und das Gesichtsfeld ein um so beschränkteres wird, je kleiner die Brennweite der Linse ist, so wendet man, um eine bedeutende Vergrößerung mit einem größeren Gesichtsfelde zu erhalten, zwei Linsen (Fig. 229.) an,

α) eine mn von kurzer Brennweite, vor welche und zwar außerhalb ihrer Brennweite, aber nahe am Brennpunkte ein Objekt ab gebracht wird (mn ist Objektivlinse), von welchem sich ein verkehrtes vergrößertes Bild $\alpha\beta$ auf der anderen Seite der Linse erzeugt;

β) eine andere pq mit größerer Brennweite, durch welche man von o aus das innerhalb ihrer Brennweite gebrachte Bild $\alpha\beta$ von jener wie durch eine Lupe vergrößert in derselben Lage $\alpha'\beta'$ ansieht (pq Augenlinse Okularlinse).

Um alles fremdartige Licht abzuhalten, werden diese Linsen in ein innerhalb geschwärztes Rohr eingeschlossen. Auch ist da, wo das erste Bild $\alpha\beta$ entsteht, ein Ring (Diaphragma, Blendung) mit einer kreisförmigen Öffnung in der Mitte angebracht, um die Randstrahlen des Objektivglases abzuhalten. Damit das durch das Objektivglas erzeugte Licht schärfer werde, ist auch noch vor Entstehung des ersten Bildes eine achromatisirende Linse, Kollektivlinse, eingeschaltet, welche die Strahlen noch besser sammelt und dem Bilde eine größere Schärfe giebt, es dabei aber etwas verkleinert und von dem Okulare entfernt.

Die Stärke der Vergrößerung ist ein Produkt der Vergrößerung der einzelnen Linsen. Vergrößerte das Objektiv z. B. 50, das Okulare 20 mal, so würde das Objekt $50 . 20 = 1000$ mal vergrößert. — Praktisch ermittelt man die Vergrößerung durch sehr kleine auf Glasscheiben mittelst feiner Ritzen bezeichnete Quadrate (Mikrometer).

2) Das astronomische Fernrohr (Keppler). Fallen auf eine Konvexlinse mn (Fig. 230.) von größerer Brennweite (Objektivglas) Strahlen von sehr entfernten Gegenständen, wie von den Himmelskörpern, also fast parallel, so entsteht von dem Objekte ab in der Brennweite der mn

17*

ein umgekehrtes Bild $a\beta$, welches man in o durch eine Linse pq von kleiner Brennweite (Okularglas, eine mikroskopische Linse) vergrößert ($a'\beta'$) in derselben Lage erblickt, wenn $a\beta$ in der Brennweite von pq nahe am Brennpunkte sich befindet. Man sieht also vom Gestirne ein verkehrtes Bild.

Auch hier schaltet man an der Stelle, wo das Bild entsteht, eine Blende und bisweilen vor Entstehung des durch das Objektivglas erzeugten Bildes ein Kollektivglas ein.

Das Auge in o würde ohne Fernrohr den Gegenstand unter dem Winkel acb $= a c \beta$ sehen; durch das Fernrohr erscheint er (sein Bild $a'\beta'$) unter dem Winkel $a'o\beta'$ oder $ao\beta$, mithin so vielmal größer, als wie oft $\angle\, ac\beta$ in $ao\beta$ enthalten ist, d. i. $\frac{ao\beta}{ac\beta}$ mal. Da nun aber diese Winkel sehr klein sind, so verhalten sie sich zu einander fast wie ihre Tangenten oder $ac\beta : ao\beta = \frac{x\beta}{xc} = \frac{x\beta}{xo} =$ xo : xc. Daher ist die Vergrößerung $\frac{ao\beta}{ac\beta} = \frac{xc}{xo}$ d. h. die Vergrößerung ist gleich der Brennweite des Objektivs, getheilt durch die des Okulars.

Die Brennweite des Okulares ist gegen die Sehweite als Null anzusehen. — Der Refraktor zu Dorpat vergrößert 600 mal.

3) Das Erdfernrohr. Weil man durch Fernröhre der letzten Art die Gegenstände verkehrt erblickt, so sind sie zur Betrachtung irdischer Gegenstände nicht geeignet. Man muß, um ein grades Bild durch das Okulare pq (Fig. 231.) zu sehen, das durch das Objektivglas mn erzeugte umgekehrte Bild $a\beta$ umkehren und zwar

α) (Rheita) durch Einschaltung einer dritten konvexen Linse rs, so daß es ($a'\beta'$) die Lage des Objektes bekommt. $a'\beta'$ wird nun durch das Okulare nur vergrößert.

Man wendet zur Umkehrung des Bildes meist zwei Konvexlinsen an, bringt noch ein Kollektivglas zwischen sie und das Okulare an und befestigt alle vier Gläser in eine Röhre, welche dem Objektivglase mehr oder weniger genähert werden muß, jenachdem die Gegenstände entfernter oder näher sind.

Da man durch ein solches Fernrohr mit dem Okulare das zweite Bild ansieht, so erscheinen die Gegenstände weniger deutlich, als im astronomischen Fernrohre. Es vergrößert so viel mal, als wie oft die Brennweite eines Okularglases in der des Objektivs enthalten ist.

β) Das holländische Fernrohr (Galiläi). Zur Umkehrung des Bildes läßt sich als Okulare auch eine bikonkave Linse pq (Fig. 232.) von kurzer Brennweite so anbringen, daß ihre Entfernung vom Objektive mn beinahe gleich ist der Differenz der Brennweiten beider. Das Bild $a\beta$ des Objektivglases ist also noch nicht entstanden, wenn die von ihm kommenden konvergenten Strahlen das Okulare schon treffen und durch dasselbe wieder so divergent werden, daß ein hinter ihm befindliches Auge das durch rückwärts vorgenommene Verlängerung der Strahlen entstehende Bild $a'\beta'$ von der Lage des Gegenstandes erblickt.

Die Vergrößerung wird ganz wie beim astronomischen Fernrohre bestimmt. Nämlich ohne Fernrohr würde der Gegenstand unter demselben Winkel, wie das Bild $a\beta$ vom Mittelpunkte des Objektivs erscheinen, d. i. unter acb $=$ $ac\beta$; durch das Fernrohr erscheint das Bild, wenn wir das Auge uns im Mittelpunkte o der Linse denken, unter dem Winkel $a'o\beta' = ao\beta$, mithin ist die Vergrößerung $\frac{ao\beta}{ac\beta} = \frac{xc}{ox}$ oder gleich der Brennweite des Objektivs,

getheilt durch die Zerstreuungsweite des Okulars. Sie kann aber hier deshalb nicht bedeutend sein, höchstens 20 bis 30 mal, weil die von dem Objektive gebrochenen Strahlen vor ihrer Vereinigung das Okulare treffen, also sich noch auf einer größeren Fläche ausbreiten und ein größeres Okulare, was auch eine größere Brennweite hat und somit weniger vergrößert, erfordern, um das Gesichtsfeld nicht allzusehr zu verkleinern..

Kurzsichtige müssen das Okulare etwas näher an das Objektive bringen, als Weitsichtige.

Theaterperspektive oder Operngucker. Taschenperspektive. Feldstecher von Plößl. Doves Methode, die Bilder durch ein Prisma umzukehren.

b) Aus Linsen und Planspiegel bestehende Apparate.

1) **Der optische Kasten** (Guckkasten). Statt blos mit einer bikonvexen Linse ein Objekt, was innerhalb ihrer Brennweite sich befindet, in einem vergrößerten Bilde von derselben Lage zu betrachten, kann man die Lichtstrahlen von einem horizontal und verkehrt liegenden Gegenstande ab (Fig. 233.) auf einen unter 45° dagegen geneigten Platinspiegel sp fallen lassen, wodurch der liegende Gegenstand aufrecht erscheint und dann dieses aufrechte Bild $\alpha\beta$ durch die Linse mn von o aus betrachten, wobei $\alpha\beta$ sich innerhalb der Brennweite von mn befindet. Der Apparat befindet sich in einem Kasten, der die gehörige Beleuchtung des Objektes zuläßt.

2) **Die dunkle Kammer**, camera obscura. Wir haben früher gesehen, daß in einem dunklen Gemache Bilder von den außerhalb befindlichen Gegenständen entstehen, wenn nur durch eine kleine Öffnung ihre Lichtstrahlen eindringen, daß aber diese Bilder keine bedeutende Schärfe besitzen, also zum Abzeichnen nicht geeignet sind. Dieser Zweck wird erreicht, wenn man (Fig. 234.) die Strahlen von dem Gegenstande ab durch einen unter 45° gegen den Horizont geneigten Planspiegel sp auffängt, wodurch ein liegendes Bild $\alpha\beta$ entsteht, dann die Strahlen von $\alpha\beta$ durch eine horizontal darunter und an der Decke eines dunklen Kastens befindliche bikonvexe Linse mn auffängt, durch welche auf dem Boden des Kastens ein verkleinertes Bild $\alpha'\beta'$ in umgekehrter Lage erzeugt wird, wenn sich der Boden in der Nähe aber außerhalb der Brennweite der Linse befindet.

Da von näheren Gegenständen die Strahlen auf den Planspiegel, also auch auf die Linse divergenter fallen, als von weiteren, so würde in jenem Falle bei unveränderter Entfernung der Linse von dem Boden das Bild unter diesen fallen; deshalb hat man die Linse in einem Schieber beweglich angebracht und entfernt sie für nähere Gegenstände vom Boden. Beim Abzeichnen der Umrisse des Bildes auf ein am Boden ausgespanntes Papier muß man alles fremdartige Licht möglichst abhalten.

3) **Die helle Kammmer**, camera clara. Der durch den vorigen Apparat gebotene Zweck kann erreicht werden, ohne daß der Zeichner, (wenigstens mit dem Oberkörper), sich in der dunklen Kammer befindet. Man läßt das Licht (Fig. 235.) von den Gegenständen, z. B. ab, durch eine senkrecht gestellte Linse mn gehen; diese macht die divergent auffallenden Strahlen konvergent, aber ehe sie im Kasten sich zu einem Bilde vereinigen, werden sie von dem unter 45° geneigten Planspiegel sp aufgefangen, bleiben in demselben Grade konvergent und bilden dann nach der Zurückwerfung auf einer matt geschliffenen Glastafel in der oberen Decke des Kastens das Bild $\alpha\beta$.

Der Kasten ist ganz geschlossen und hat nur äußerlich zur Abhaltung frem-

den Lichtes einen Schirm. Auch hier ist die Linse in einer verschiebbaren Röhre wegen Veränderlichkeit des Abstandes der Objekte von ihr. — Manche nennen auch diese Vorrichtung eine cam. obsc.

4) Das Sonnenmikroskop. Wenn bei einer Linse mn (Fig. 236.) von kleiner Brennweite ein Gegenstand außerhalb der Brennweite in der Nähe des Brennpunktes sich befindet, so wird auf einer entgegen gesetzten Wand ein um so größeres Bild erzeugt, je näher das Objekt dem Brennpunkte rückt. Da aber das Bild mit zunehmender Vergrößerung auch bedeutend undeutlicher wird (im quadratischen Verhältnisse der Zunahme der Entfernung), so muß man das Objekt möglichst stark zu erleuchten suchen. Dieses geschieht u. a. dadurch, daß man Sonnenstrahlen auf einen Planspiegel sp und von diesem auf eine Linse pq (oder auch auf zwei) mit größerer Brennweite fallen läßt, wobei das Objekt fast im Brennpunkte sich befindet, (ob außerhalb oder innerhalb, ist gleichgiltig).

Die Stärke der Vergrößerung findet man, wenn man die Entfernung des Objektes von der Objektivlinse in die Entfernung des Bildes von ihr dividirt; oder wenn man ein Glasmikrometer von bekannter Größe anwendet und dann die Größe der Abtheilungen im Bilde darnach mißt.

Da die Stellung der Sonne sich fortwährend ändert, so hat man den Spiegel, um für die auf ihn fallenden, also auch für die zurück geworfenen Strahlen stets dieselbe Lage zu erhalten, mit einem Uhrwerke (Heliostat) in Verbindung gesetzt. Die Vorrichtung befindet sich in dem Laden eines finsteren Zimmers, so daß das Auge des darin befindlichen Beobachters durch keinen anderen Lichteindruck gereizt wird. Die Objekte müssen durchsichtige oder durchscheinende sein oder sich in einem durchsichtigen Körper befinden, wie z. B. Infusorien im Wasser.

Man hat das Licht der Sonne dadurch zu ersetzen gesucht, daß man einen Strom von brennendem Knallgas (1 Raumtheil Sauerstoff mit 2 Raumtheilen Wasserstoff) auf Kalk leitet (Drummonds Kalklicht), wodurch jenes Uhrwerk entbehrlich und doch eine außerordentlich schöne Erleuchtung erzeugt wird.

c) Aus Linsen und Kugelspiegeln bestehende Apparate.

1) Das Lampenmikroskop. Die Beleuchtung des Objektes für ein Mikroskop kann auch dadurch geschehen, daß man das Licht einer Lampe vermittelst eines Hohlspiegels durch Reflexion auf den zu untersuchenden Gegenstand wirft; bei einem undurchsichtigen auf seine obere zu untersuchende Seite. Statt des Lampenlichtes dient zur Erleuchtung in den meisten Fällen schon das Licht heller Wolken oder überhaupt nur die Tageshelle. — Katoptrische Mikroskope.

2) Die Zauberlaterne, laterna magica. In dem Brennpunkte eines metallenen Hohlspiegels ist eine Lichtflamme, durch welche mit durchscheinenden Farben auf Glas gemalte Bilder stark erleuchtet werden; letztere befinden sich außerhalb der Brennweite eines Systems von zwei Konverlinsen mit mäßiger Vergrößerung. Dadurch wird auf einer gegenüber stehenden weißen Wand ein farbiges Bild erzeugt, was grade ist, wenn man die Objekte verkehrt in die Laterne gebracht hat. — Fantasmagorie.

3) Die Reflektoren-Fernröhre. Man kann von einem Gestirne, statt durch eine bikonvexe Linse mit großer Brennweite ein Bild zu erhalten, dasselbe durch einen metallenen Hohlspiegel bilden lassen und dasselbe dann durch eine mikroskopische Linse entweder unmittelbar oder nach der Zurückwerfung durch einen Spiegel betrachten.

α) Das newtonsche enthält am Ende eines inwendig geschwärzten Rohres einen Hohlspiegel mn (Fig. 237.), welcher die parallel auffallenden Strahlen konvergent macht; der unter 45° geneigte Planspiegel pq im Innern des Rohres wirft die Strahlen, bevor sie ein verkehrtes Bild $\alpha\beta$ im Brennpunkte bilden, nach der Linse rs hin, innerhalb deren Brennweite das Bild $\alpha'\beta'$ in der Nähe des Brennpunktes entsteht, was natürlich dem Auge in o vergrößert erscheint.

Um das schwerfällige Rohr besser nach einem bestimmten Gestirne richten zu können, ist außerhalb desselben parallel mit seiner Axe ein sogenannter Sucher ab. — Herschels Riesenteleskop wog 4000 Pfd. bei 46' Länge und 5' Durchmesser, der Hohlspiegel wog 1000 Pfd.; die lineare Vergrößerung war 7000.

β) Das kassegrainsche (Fig. 238.) unterscheidet sich dadurch von dem vorhergehenden, daß der Hohlspiegel in der Mitte durchbrochen ist, um zwei Augenlinsen hineinzuschieben, und daß statt des ebenen Spiegels ein konvexer angebracht ist, welcher die vom Hohlspiegel kommenden Strahlen auffängt, ehe sie das Bild erzeugt haben, welches bei der so verringerten Konvergenz der Strahlen erst zwischen den beiden Linsen des Okulars entsteht.

Man sieht zwar in der Richtung nach dem Gestirne, aber die für Erzeugung des Bildes vortheilhaftesten Axenstrahlen gehen verloren.

γ) Das gregorische hat eine ähnliche Einrichtung, nur daß das physische verkehrte Bild des großen Spiegels wirklich erzeugt wird und sich innerhalb der Brennweite eines kleinen Hohlspiegels befindet, durch welchen zwischen die beiden Okulare ein grades Bild geworfen wird. Das erste (innere) Okulare befördert nur die Entstehung des Bildes.

XIII. Vom Auge und dem Sehen.

Nimmt man von einem frisch geschlachteten weißen Kaninchen ein Auge aus und hält es einem stark beleuchteten Gegenstande, z. B. einem Fenster gegenüber, so sieht man auf dem Hintergrunde des Auges ein deutliches, verkehrtes und farbloses Bild des Fensters; dasselbe bemerkt man auch an den Augen anderer Thiere, z. B. eines Rindes, wenn man vorsichtig auf der oberen Seite die äußere undurchsichtige Haut desselben theilweise beseitigt, um auf den Hintergrund des Auges sehen zu können. Demnach ist die Wirkung der Augen die von konvexen achromatischen Linsen.

a) Anatomie des Auges. Bei der Zergliederung des menschlichen Auges (Augapfels), welches wir hier allein betrachten, finden sich folgende Bestandtheile (Fig. 239.): eine ziemlich harte und weiße Haut ww umgiebt äußerlich den größten Theil des Auges; nach vorn geht sie über in eine durchsichtige und mehr konvexe Haut, die Hornhaut hh. Unter der weißen Haut liegt eine mit vielen zarten Gefäßen durchzogene auf der inneren Seite mit einer schwarzen Substanz bekleidete Haut, die Aderhaut aa, deren Fortsetzung nach vorn eine ebene und bei verschiedenen Menschen verschieden gefärbte Haut ist, die Regenbogenhaut rr, in der Mitte mit einer schwarzen Öffnung, der Pupille. Unter der Aderhaut liegt bis zur Regenbogenhaut ausgebreitet die Netzhaut nn, welche sich im Hintergrunde des Auges in den Sehnerven s zusammen zieht.

Durch die Regenbogenhaut wird das Innere des Auges in zwei ungleiche Abtheilungen zerlegt, deren vordere und kleinere mit einer etwas salzigen und durchsichtigen Flüssigkeit, der wäßrigen Feuchtigkeit und hintere mit einer gallertartigen, der Glasfeuchtigkeit, erfüllt ist, in welcher nach vorn und unmittelbar hinter der Netzhaut die noch festere Krystalllinse k liegt, welche mittelst durchsichtiger Haüte an die anderen Haüte des Auges befestigt ist.

b) Funktionen des Auges. Nur die durch die Hornhaut und Pupille in das Innere des Auges eindringenden Strahlen bewirken das Bild auf der Netzhaut, nachdem sie die verschiedenen Media durchlaufen haben und dadurch nicht blos konvergent, sondern auch achromatisch geworden sind; alle übrigen Strahlen werden auf der weißen Haut und Aderhaut unregelmäßig zerstreut. Die Pupille läßt von den schon durch die Hornhaut und wäßrige Feuchtigkeit gebrochenen Strahlen nur die zentralen durch und hat den Einfluß einer Blendung; die schwarze Aderhaut absorbirt die etwa noch zerstreuten Strahlen und hindert ihre Reflexion; die Krystalllinse bewirkt durch ihre starke Brechung vorzüglich die Erzeugung des Bildchens auf der Netzhaut und der Sehnerv bringt es endlich auf eine uns unbekannte Weise zu unserem Bewußtsein. Unser durch die Erfahrung geübtes Urtheil setzt sofort unmittelbar für das Netzhautbild den Gegenstand der Außenwelt und zwar nach der Richtung hin, in welcher die Strahlen das Auge treffen. Wenn also auch das Bild auf der Netzhaut verkehrt ist, so nehmen wir den Gegenstand und seine Theile doch in derselben Lage wahr, wie ihn uns der Tastsinn zeigt.

Macht man auf einem weißen Papiere in einer Entfernung von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll zwei schwarze Punkte und sieht man entweder mit dem linken Auge allein den rechts oder mit dem rechten Auge allein den links befindlichen Punkt an, so verschwindet der andere dem sehenden Auge, wenn man sie beide in gewisser Entfernung horizontal vorüberführt. Das Bild des verschwundenen Punktes trifft die Netzhaut grade an der Stelle, an welcher der Sehnerv eintritt; sie gewährt also die Empfindung des Sehens gar nicht.

Von der wahren Größe und wahren Entfernung der gesehenen Gegenstände bekommen wir nur durch unser Urtheil mit Rücksicht auf den Winkel, den die Axen beider Augen mit einander bilden, auf die Beleuchtung, scheinbare Größe, so wie die wahre Göße und Lage bekannter Gegenstände in bekannter Entfernung eine Vorstellung.

Sieht man nur mit einem Auge, so täuscht man sich leicht über die Entfernung: die Öffnung eines kleinen freihängenden Ringes wird man mit einem krumm gebogenen Stäbchen eher verfehlen, als treffen, wenn man sich so stellt, daß man sie mit diesem einen Auge nicht selbst sieht. — Da bei einem sehr entfernten Gegenstande die auf ihn gerichteten beiden Augenaxen als parallel anzusehen sind, so ist die perspektivische Ansicht für jedes Auge dieselbe und es läßt sich weder die verschiedene Entfernung der verschiedenen Punkte des Körpers vom Auge, noch der verschiedene Grad der Beleuchtung zur Beurtheilung der Gestalt benutzen. Bei nahen Gegenständen aber hat jedes Auge seine eigene perspektivische Ansicht, woraus es den Körper mit seinen drei Dimensionen zusammen setzt. — Das Stereoskop stellt aus zwei verschiedenen perspektivischen Zeichnungen, von denen jede nur mit einem Auge angesehen wird, durch den doppelten gleichzeitigen Eindruck aufs taüschendste einen Körper dar. Spiegel- und Prismenstereoskop. — Wir glauben bei gleicher Größe der Netzhautbilder einen kleinen näheren Gegenstand zu sehen, wenn wir die Augen

in sehr konvergenter Stellung halten, dagegen einen größeren und entfernteren, wenn die Augen weniger konvergent stehen.

Ungeachtet wir mit zwei Augen sehen, von denen jedes sein Netzhautbildchen hat, so erscheint uns doch ein Gegenstand dann nicht doppelt, wenn wir die Axen beider Augen nach ihm richten und er ihnen in einer Entfernung ist, in welcher sie ihn deutlich sehen. Die Bilder fallen dann in die Verlängerung der Axen auf dieselben Stellen der Netzhaut beider Augen, deren Sehnerven gleichsam als zwei verästete Zweige eines gemeinsamen Stammes anzusehen sind. Aber auch, wenn wir mehre Gegenstände neben einander zugleich sehen, so erscheint uns dennoch jeder auch nur einfach, obwohl die Bilder desselben Gegenstandes nicht eine gleiche Lage gegen die beiden Axen haben. Hier folgen die Bilder auf der Netzhaut beider Augen in derselben Stellung auf einander. Aber wirklich doppelt erscheint uns ein Gegenstand, entweder wenn man wie beim willkührlichen Schielen oder durch einen auf das eine Auge ausgeübten mechanischen Druck die Augenaxen in eine unnatürliche Lage bringt, oder wenn man auf beiden Augen die Bilder eines einzelnen Gegenstandes gegen die Augenaxen in eine entgegen gesetzte Lage dadurch bringt, daß man von zwei Gegenständen hinter einander nur den einen, gleichgiltig ob den näheren oder den entfernteren, schärfer ansieht, d. h. die beiden Augaxen nach ihm richtet; oder wenn auf einem einzelnen Auge sich zwei Bilder eines einzelnen Objektes bilden, was geschieht, wenn man durch zwei dicht neben einander befindliche Öffnungen in einem Kartenblatte oder anderem Papiere, welches man dem Auge ganz nahe hält, einen kleinen Körper, z. B. eine Stecknadel allzu nahe oder allzu entfernt hinter dem Papiere hält; denn in dem einen Falle kreuzen einander die feinen Strahlenbündel, welche durch die Öffnungen gehen, erst hinter, in dem anderen Falle schon vor der Netzhaut, so daß in beiden Fällen verschiedene Stellen der Netzhaut getroffen werden. In einer gewissen Entfernung erscheint die Nadel einfach.

Beim Gefühle hat es eine ähnliche Bewandtniß. Nämlich wenn die Existenz eines Gegenstandes durch neben einander liegende Gefühlsnerven angezeigt wird, so erscheint er uns als einfach, wie z. B. ein Kügelchen, was man zwischen zwei Fingern in ihrer natürlichen Lage hin und her rollt; wenn aber entgegen gesetzt liegende Nerven z. B. an der linken Seite des Zeigefingers und der rechten Seite des Mittelfingers einen Körper zugleich fühlen, so scheinen zwei Körper vorhanden zu sein, wie es der Fall ist, wenn man den Mittel- über den Zeigefinger legt und jenes Kugelchen zwischen ihnen rollt.

c) Deutliches Sehen. Das deutliche Erkennen eines Gegenstandes durch das gesunde Auge ist von verschiedenen Bedingungen abhängig.

1) Von der Weite des Gegenstandes. Weder allzu nahe, noch allzu entfernte Gegenstände erscheinen uns deutlich. Im ersten Falle treffen die Lichtstrahlen das Auge zu sehr divergent und die Vereinigung derselben findet erst hinter der Netzhaut statt; im zweiten zu wenig divergent, so daß das Auge mit seinem bestimmten Brechungsvermögen dieselben schon vor der Netzhaut zu einem Bilde vereint. In beiden Fällen liegt von jedem leuchtenden Punkte ein Zerstreuungskreis auf der Netzhaut, so daß das Bild des ganzen Gegenstandes auf ihr undeutlich sein muß. — Daß aber für das deutliche Sehen das Bild des Objektes grade auf die Netzhaut fallen muß, ist nicht nur wahrscheinlich, sondern läßt sich auch direkt

beweisen. Hält man nämlich ein Blatt Papier mit zwei ganz feinen Öffnungen, deren Entfernung kleiner, als der Durchmesser der Pupille ist, dicht vor das Auge, so werden die zwei feinen durch die beiden Öffnungen gehenden Strahlenbüschel eines ganz nahen kleinen Gegenstandes (Stecknadel, eine feine Öffnung) so sehr divergiren, daß sie einander erst hinter und die eines allzu entfernten Gegenstandes so wenig divergiren, daß sie einander schon vor der Netzhaut treffen, wodurch bekanntlich in beiden Fällen ein doppeltes Bild auf ihr entsteht; nur also wenn der Körper in einer gewissen mittleren Entfernung ist, sieht man ihn einfach, weil jetzt die beiden Strahlenbündel einander auf der Netzhaut schneiden und nur in dieser Entfernung wird, auch nach Wegnahme des Blattes, d. h. wenn man allen Strahlen gestattet das Auge zu treffen, der Gegenstand ganz deutlich erscheinen: **Weite des deutlichen Sehens oder Sehweite.**

Optometer. — Für rothe Strahlen muß man den Gegenstand, um ihn einfach zu sehen, in größerer, für blaue in geringerer Entfernung halten; also ist die Sehweite für verschiedene Farben, und zwar wegen ihrer verschiedenen Brechbarkeit, verschieden. Betrachtet man ein Gitter von weißen Linien auf schwarzem Grunde durch ein blaues Glas und entfernt es allmählig so weit, daß es durch das Zusammenlaufen der Linien als Fleck erscheint, so sieht man es in derselben Entfernung durch ein rothes Glas noch deutlich als Gitter und erst in größerer als Fleck; also ist die Sehweite für rothes Licht größer als für blaues. Verschiedene Augen besitzen die Fähigkeit, die Lichtundulationen zu zählen, in einem verschiedenen Grade; daher das verschiedene Urtheil über dieselbe Farbe (z. B. bei einem Sterne) und die Erscheinung des gänzlichen Mangels an Farbensinne.

Bei einem gesunden Auge beträgt die Weite des deutlichen Sehens 8 bis 10 Zoll und der Sehwinkel für einen mäßig erleuchteten Gegenstand 30 Sekunden (der Gegenstand hat dann 0,001 Zoll Durchmesser); für Gegenstände, die in der deutlichen Sehweite einen kleineren Sehwinkel bilden, ist das Bild auf der Netzhaut zu klein, als daß es einen wirksamen Eindruck machen könnte, d. h. wir sehen solche Gegenstände nicht mehr.

Aber das Auge hat in einem gewissen Grade die Fähigkeit, sich **allmählig** so zu verändern, daß es Gegenstände in größerer Nähe oder größerer Entfernung auch noch deutlich erkennt; jedoch ist sein **Accomodationsvermögen** für weiße Gegenstände ein anderes als für schwarze u. a. Nahe und entfernte Gegenstände **zugleich** deutlich zu erkennen, z. B. einen Fleck auf einer Glastafel und einen entfernten Gegenstand hinter ihr, vermag es nicht, sondern es bedarf einiger Zeit, sich für verschiedene Entfernungen durch die Beweglichkeit seiner Bestandtheile einzurichten. Äußerlich bemerkt man dabei im Auge bei scharfer Betrachtung naher Gegenstände eine Zusammenziehung, bei der entfernter eine Erweiterung der Pupille, wodurch in beiden Fällen nur den in der Nähe der Augenaxe liegenden Strahlen der Eintritt ins Auge gestattet ist und die Bildung eines größeren Zerstreuungskreises auf der Netzhaut vermieden wird.

Darin liegt auch der Grund davon, daß man durch eine feine in einem Kartenblatte gemachte Öffnung einen ganz nahe dahinter gehaltenen Gegenstand noch deutlich erkennen kann; natürlich sieht man ihn wegen des größeren Sehwinkels vergrößert, aber auch weniger erhellt, weil durch die feine Öffnung von jedem Punkte des Gegenstandes nur wenige Strahlen dringen, und weil sie durch eine so feine Öffnung fast nur nach einer einzigen Richtung den vorderen Theil des Auges, also auch die Netzhaut treffen, so erkennt man durch sie nicht nur ganz nahe, sondern auch entferntere Gegenstände, ohne daß das Auge nöthig

hätte sich für diese verschiedenen Entfernungen einzurichten. — Wenn man durch eine solche feine Öffnung auf eine Lichtflamme sieht und zwischen Auge und Kartenblatt einen Stecknadelknopf hin und her bewegt, so erscheint er in der Öffnung, wie die Gegenstände in einer dunklen Kammer, verkehrt und bewegt sich auch entgegen gesetzt. — Verschiedene Akkomodation für senkrechte und horizontale Linien.

Es giebt auch Augen, welche überhaupt nicht einmal die Fähigkeit besitzen, sich auf verschiedene Entfernungen einzurichten, die also nur geeignet sind die Gegenstände entweder in größerer Entfernung oder nur solche in geringerer zu erkennen: weitsichtige, kurzsichtige Augen. Da das weitsichtige Auge die Gegenstände in größerer Entfernung verlangt, als die Sehweite des normalen Auges beträgt, so bricht es die Strahlen naher Gegenstände zu schwach oder es ist zu flach gebildet und man muß ihm durch ein stärker brechendes Mittel, nämlich durch konvexe Brillengläser von außen zu Hilfe kommen, wodurch das Bild naher Gegenstände aus größerer Entfernung hinter der Netzhaut auf diese gebracht wird. Staarbrillen. — Das kurzsichtige Auge verlangt eine größere Annäherung der Objekte oder stärker divergirende Strahlen, als sie von den Gegenständen der normalen Sehweite kommen, es ist also allzu konvex, bricht die Strahlen der entfernteren zu stark, so daß ihre Vereinigung vor der Netzhaut statt findet und verlangt weniger divergirende Strahlen, welche nur durch konkave Brillengläser erzeugt werden können.

2) Zum deutlichen Erkennen eines Gegenstandes gehört ferner eine gewisse Dauer des Lichteindruckes. Eine abgeschossene Büchsenkugel sind wir nicht im Stande in ihrer Bahn zu verfolgen, weil sie in jedem Punkte derselben eine allzu kurze Zeit verweilt, als daß sie in dem Auge ein wirksames Bild zu erzeugen im Stande wäre. Die Beobachtung der Bewegung der Fixsterne durch verschiedene Astronomen hat ergeben, daß die Zeit für die Aufnahme des Lichteindruckes bis zu $\frac{1}{4}$ Sekunde beträgt.

Der Lichteindruck ist für verschiedene Farben verschieden: für Weiß, Gelb, Roth, Blau nimmt er in dieser Ordnung ab.

Die Speichen eines schnell gedrehten Rades kann man bei Beleuchtung durch Sonnen- oder Kerzenlicht nicht unterscheiden; wohl aber wenn sie im Finstern durch den momentanen elektrischen Funken erleuchtet werden; wir erkennen sie da nur in einem momentanen Stadium der Bewegung.

Soll man die Bewegung eines Gegenstandes sehen können, so muß sich sein Bild auf der Netzhaut so langsam bewegen, daß es an jeder Stelle eine Einwirkung auf unsere Empfindung hervorbringt. Der in einer Sekunde von dem Körper zurück gelegte Bogen darf in der Entfernung der deutlichen Sehweite nicht unter $2\frac{1}{4}$ Minute betragen. — Bewegung des Stundenzeigers einer Uhr.

Wenn auch bei der Bewegung eines Gegenstandes sein Bild auf der Netzhaut sich in entgegen gesetzter Richtung bewegt, so bemerken wir sie doch in der wahren aus demselben Grunde, aus welchem wir die Lage der Theile eines Gegenstandes richtig beurtheilen. Einer Taüschung sind wir in Betreff der Bewegung eines äußeren Gegenstandes nur dann ausgesetzt, wenn sich sein Bild auf der Netzhaut bewegt, ohne daß wir unsere eigene Bewegung empfinden.

Umgekehrt wird aber auch ein auf das Auge hervorgebrachter wirksamer Eindruck nach dem Aufhören der Erregung nicht sofort verwischt (ein Mittel etwa nach 0,34 Sekunden). Daher sehen wir von einer glühenden rasch genug im Kreise geschwungenen Kohle einen Kreisbogen oder Kreis, von den Feuerkugeln und Sternschnuppen oft einen Schweif, von dem elektrischen Funken, dem Blitze, Linien.

Dieses Beharrungsvermögen oder diese eigentliche Trägheit unseres Gesichtsorgans hat man dazu benutzt, um getrennt gezeichnete Gegenstände zu einem Ganzen zu verbinden (ist auf der einen Seite einer Scheibe ein Vogel, auf der anderen ein Käfig gezeichnet, so glaubt man bei schneller Drehung der Scheibe um eine in ihr liegende Axe den Vogel im Käfige zu sehen) oder um getrennt an der Peripherie auf einer um eine Axe drehbaren Kreisscheibe (Wunderscheibe, Phenakistoskop, stroboskopische Scheibe — Thaumatropie) dargestellte Momente einer sich wiederholenden Handlung oder (einer oszillirenden oder progressiven) Bewegung zu einer zusammenhängenden zu verbinden; ferner um durch einen Kreisel, worauf die Farben des prismatischen Farbenbildes nach dem Verhältnisse ihrer Ausdehnung und Lichtstärke als Sektoren gemalt sind, Weiß oder aus zwei Farben eine dritte darzustellen. (Blau und Gelb geben Grün, Blau und Roth erzeugen Violet, Gelb und Roth geben Orange). Auf einem Farbenkreisel muß der schwächere Eindruck der weniger lebhaften Farbe, z. B. des Blau, durch eine größere Ausdehnung, also auch durch eine längere Dauer des Eindruckes kompensirt werden. Farbige Spiralen auf Kreiseln. Die Darstellung des Weiß geschieht noch besser, wenn man dem Prisma, während es das Spektrum erzeugt, durch ein Räderwerk eine rasch oszillirende oder auch rotirende Bewegung ertheilt, so daß in der Mitte des Spektrums alle Farben in rascher Aufeinanderfolge einander decken und nur die betreffenden Endfarben sich zeigen.

Die Empfindung einer Einwirkung von außen dauert selbst bei geschlossenen Augen fort und es zeigen sich Nachbilder. Hat man ein gut beleuchtetes Fenster einige Zeit starr angesehen und wendet dann das geschlossene Auge weg auf eine dunkle Wand, so erscheint ein helles Nachbild des Fensters mit seinen dunklen Sprossen. Die Nachbilder dunkler Gegenstände sind dunkel. Anders ist die Erscheinung, wenn man die geöffneten Augen vom Fenster weg auf eine schwächer erleuchtete Wand wendet; man sieht nämlich ein dunkles Fenster mit hellen Sprossen, weil die Stellen der Netzhaut, auf welche das Bild der dunklen Fenstersprossen fiel, weniger durch das Licht gereizt, also leichter für das mattere Licht der Wand empfänglich sind, als die anderen stärker gereizten Stellen.

Der andauernde Lichtreiz auf der Netzhaut ist in der Regel mit einer Farbenerscheinung verbunden: farbige Nachbilder. Hat man anhaltend eine Kerzenflamme oder ein weißes von der Sonne erleuchtetes Papier auf schwarzem Grunde angesehen und wendet das geschlossene Auge plötzlich auf eine dunkle Wand, so bemerkt man noch eine Flamme, welche zuerst gelb, dann orange, roth, violett, grünlich blau wird und endlich verschwindet; wendet man das Auge auf eine helle Wand, so ist das Nachbild dunkel und die Farben erscheinen und verschwinden in umgekehrter Ordnung. In beiden Fällen beginnt der Übergang aus einer Farbe in die andere vom Rande aus; in der Mitte verschwindet jede Farbe zuletzt.

Die Erscheinung möchte sich auf folgende Weise erklären lassen. Ein dunkles Nachbild auf der hellen Wand entsteht, weil die durch das Weiß geblendete Stelle der Netzhaut für das Weiß der äußeren Fläche unempfindlicher ist, als die nicht geblendeten Stellen. Nun ist aber das Auge durch das in Weiß enthaltene Roth und Gelb am meisten, durch Blau am wenigsten geschwächt und abgestumpft worden, daher tritt aus dem objektiven Weiß das Blau am ersten, Roth und Gelb am spätesten für die Empfindung hervor. Bei einem hellen Nachbilde auf einer dunkleren Wand ist die Erscheinung umgekehrt und nicht sowohl von dem weißen Objekte abhängig, als vielmehr rein subjektiv, da man ja auch die Augen dabei schließen kann. Es hören nämlich die Nachwirkungen im Auge nach Beseitigung des äußeren Lichtreizes nicht für alle Farben gleichzeitig und in gleichem Maaße auf.

Hat man anhaltend eine stark erleuchtete lebhaft rothe Stelle angesehen und wendet dann das Auge auf eine weiße Fläche, so erscheint sie in dem komplementären Grün anders, wenn man auf eine gefärbte Fläche sieht; denn das Auge hat durch den Überreiz die Empfindlichkeit für Roth in Weiß verloren und es bleibt ihm darin Grün; ein blauer Fleck giebt ein gelbes Nachbild (Orange giebt Blau; Gelb giebt Violett).

Hat man durch zwei besondere Röhren (Diploskop) mit dem einen Auge auf einer Kreisscheibe einen rothen Halbkreis, mit dem anderen einen grünen bis zur Abstumpfung der Augen angesehen und versetzt dann die Scheibe in schnelle Drehung, so zieht jenes Auge Grün, dieses Roth. Werden aber den Augen zugleich zwei Farben auf einem rotirenden Farbenkreisel (Gelb : Blau = 1 : 4) dargeboten und dann durch ein dunkles Stäbchen, welches man parallel mit sich selbst über die Scheibe fortbewegt, einem Theile der Netzhaut momentan der Eindruck der einen Farbe entzogen, so sieht man die andere um so lebhafter, indem man ein Stabgitter bemerkt, dessen Speichen lebhaft in der Farbe erscheinen, welche sie nicht bedecken. Dabei treten mit zunehmender Geschwindigkeit die Speichen aus einander und sind zählbar, so daß, wenn nur ein gelber vorhanden ist, aus der Anzahl der blauen Speichen, die bei jedem Übergange des Stabes auf Gelb entstehen, die Anzahl der Drehungen in einer bestimmten Zeit ermittelt werden kann.

Wird eine orangefarbene Papierscheibe von einem Fuß Durchmesser, aus welcher 20 Sektoren bis auf etwa einen Zoll vom Rande entfernt ausgeschnitten sind, in einer Entfernung von etwa zwei Zoll über einer weißen Scheibe gedreht, so tritt bei rascher Drehung aus dem Orange das Roth vorherrschend hervor und dieses erzeugt beim allmähligen Anhalten der Scheibe auf dem unteren Weiß das subjektiv komplementare Grün; beim völligen Stillstehen der Scheibe ruft das Orange der oberen Scheibe auf der unteren die Komplementarfarbe als ein sehr intensives Blau hervor.

3) Endlich ist die Stärke der Beleuchtung eines einzelnen Gegenstandes und der Kontrast bei verschiedenen für die Sichtbarkeit sehr wichtig. Je mehr ein Körper beleuchtet ist und je mehr sich seine Farbe von der seiner Umgebung unterscheidet, desto eher ist er uns sichtbar. Damit aber ein gewisser Körper einem gewissen Auge sichtbar werde, bedarf es nicht blos einer bestimmten Beleuchtung, sondern auch einer Anbequemung des Auges für die jedesmalige Lichtquelle. Ist das Auge einige Zeit durch starkes Licht gereizt worden, so vermag es nicht sogleich Körper im Dunkeln zu erkennen und war es im Dunkeln, so verträgt es einen plötzlich eintretenden starken Lichtreiz nicht. Am Tage sehen wir die Sterne nicht, weil das Auge durch die Tageshelle allzusehr gereizt ist, wohl aber kann dies geschehen, wenn wir uns in einem tiefen finsteren Schachte befinden und nach dem Himmel sehen. Das Auge hat eine erstaunliche Fähigkeit sich für den Lichtreiz einzurichten, denn es erkennt Gegenstände beim matten Scheine des Mondes und auch im hellsten Sonnenscheine. Bei großer Erleuchtung zieht sich die Pupille zusammen, damit nicht allzu viele Strahlen in dasselbe kommen und bei schwacher Erleuchtung öffnet sich dieselbe, damit möglichst viele Strahlen das Auge treffen; daher haben auch die Thiere, welche ein Nachtleben führen, eine große Pupille.

Es ist schon eine relativ bessere Beleuchtung oder eine hellere Farbe neben einer dunklen zum Sichtbarwerden oft hinreichend. Ein glänzender Silberdraht auf schwarzem Grunde oder ein schwarzes Haar gegen den hellen Himmel ist selbst noch bei einem Gesichtswinkel von 2 Sekunden sichtbar.

Bemerkenswerth ist noch, daß bei heller Beleuchtung hellere Farben (Roth, Gelb) in der Dämmerung früher verschwinden, als weniger helle (Blau):

das Blau des Himmels ist selbst bei dem schwachen Sternenlichte noch erkennbar. Der Grund davon liegt darin, daß zu Blau eine größere Schwingungszahl, als zu Roth oder Gelb gehört, daß also bei jenem der Eindruck auf die Netzhaut ein energischerer ist, als bei diesem. (Vrgl. Akustik S. 112. c. 3.)

Betrachtet man im Stereoskope, während vor dem einen Auge ein blaues, vor dem anderen ein rothes Glas sich befindet, die für das rechte und für das linke Auge auf schwarzem Grunde mit weißen Linien entworfenen Projektionen eines Körpers, so sieht man das Relief in der Mischungsfarbe, wenn die Gläser nur einfarbiges Licht durchlassen und alle Kanten bestehen aus getrennten, der Länge nach einander berührenden farbigen Linien. Bei abnehmender Tageshelle verschwinden aber zuerst die rothen Linien mehr und mehr und dann selbst das Relief, so daß nur noch die Projektion des blauen Glases für das betreffende Auge bleibt. Bringt man dann zwei rothe Gläser vor die Augen, so sieht man gar nichts, mit zwei blauen tritt das Relief wieder deutlich hervor.

Bei der Beurtheilung der Helligkeit legt das Auge einen relativen Maaßstab an; es hält z. B. einen grauen Streifen auf weißem Grunde für dunkler, auf schwarzem Grunde für weißer, als er an sich erscheint. Der Schatten eines undurchsichtigen Stabes bei einem einzelnen Kerzenlichte erscheint auf einer weißen Wand ziemlich dunkel: wird nun noch ein zweites Licht neben das erste gebracht, so wird jener Schatten jetzt zwar durch ein Licht eben so stark erleuchtet, wie vorhin die Wand, aber er erscheint gegen die übrige doppelt so stark erleuchtete Wand noch dunkel, während vorhin die eben so stark erleuchtete Wand hell erschien.

Bei farbigen Gegenständen erscheinen durch den Kontrast bisweilen die Ergänzungsfarben, z. B. ein grauer Streifen Papier erscheint auf einer blauen Unterlage gelb, auf einer hellgrünen aber röthlich.

Ebenso erscheint auch der durch farbiges Licht hervorgebrachte Schatten eines schmalen Körpers in der Beleuchtung mit weißem Lichte komplementär gefärbt zu jenem Lichte.

Der durch weißes Licht hervorgebrachte Schatten eines Fingers auf weißem Papiere in einer Stube (mit zwei Fenstern), bei welcher ein Fenster mit einem durchscheinenden grünen Stoffe verhangen worden, ist roth. Die von Körpern unter der Taucherglocke geworfenen Schatten sind grün, während die durch das Sonnenlicht bewirkte Beleuchtung purpurfarbig ist. Unfähigkeit Mancher, die Farben zu unterscheiden. Das Tagsehen; das Nachtsehen; die Lichtscheu.

Der auf die Netzhaut ausgeübte Lichtreiz beschränkt sich nicht blos auf die von den Strahlen unmittelbar getroffene Stelle, sondern geht noch darüber hinaus. Diese rein subjektive Erscheinung heißt **Irradiation**. Obwohl der Durchmesser der Fixsterne weit kleiner ist, als eine Sekunde, so sind sie doch dem Auge viel leichter bemerkbar, als manche Planeten, deren scheinbarer Durchmesser größer ist. Überhaupt erscheint jeder helle Gegenstand auf dunklem Grunde größer (eine entfernte Kerzenflamme mit ihren zackigen Strahlen, ein weißer Streifen auf schwarzem Grunde); dagegen ein dunkler auf hellem kleiner (ein schwarzer Strich auf weißer Tafel Fig. 240.).

Wenn wir den Mond kurz vor oder nach dem Neumonde ansehen, so scheint die sichelförmige Erleuchtung zu einer Kugel von größerem Durchmesser zu gehören, als der nur sehr matt von dem durch reflektirtes Licht von der Erde erleuchtete Theil, oder die Mondhörner umfassen den dunklen Theil über die wirkliche Erleuchtungsgränze. Schmale farbige Gegenstände auf weißem Grunde verschwinden sogar bei anhaltend scharfer Betrachtung durch Irradiation, besonders an der Stelle der Netzhaut, wo der Sehnerv eintritt.

Die Irradiation wächst zwar mit zunehmender Lichtstärke, aber in abnehmendem Verhältnisse. Vergrößerungsgläser vermindern sie an den Gestirnen

um so mehr, je stärker sie vergrößern, weil durch sie die Lichtstärke verkleinert wird. — Merkwürdig ist die Entstehung des Glanzes, wenn man im Stereoskop eine Zeichnung von schwarzen Linien auf weißem Grunde mit einer solchen von weißen Linien auf schwarzem Grunde verbindet. Bei der Betrachtung durch farbige Gläser erscheint auch der Glanz farbig.

Fünfter Abschnitt.

Von der Wärme.

I. Wärmeerscheinungen im Allgemeinen.

Wird ein Körper zusammen gedrückt, an einem anderen gerieben oder wird er dem Sonnenlichte, einem elektrischen Strome ausgesetzt, geht er mit einem anderen eine lebhafte chemische Verbindung ein oder verbrennt er, so wird er in einen Zustand versetzt, welcher in uns das Gefühl der Wärme erzeugt. Bei organischen Körpern ist der Lebensprozeß mit Wärmeentwickelung verknüpft.

Trockenes Holz läßt sich durch Reibung entzünden; Feilen, Bohrer, Sägen u. dergl. werden beim Gebrauche (auch im leeren Raume) warm (Einschmieren der Sägen u. s. w. mit Fett), ebenso die Wagenaxen und Zapfen an bewegten Rädern, Hemmschuhe an Wagen; Metalle an gedrehten Schleifsteinen oder wenn sie ausgebohrt, gedrechselt oder gehämmert werden, bringt man bis zum Dunkelglühen; beim Drechseln kann man mittelst eines Stäbchens recht harten Holzes schwarze verkohlte Ringe auf ein anderes Stück Holz bringen; gedrehte Mühlsteine, namentlich wenn sie ohne Zwischenkörper laufen; durch Ausbohren von Kanonenlaüfen und gedrehte Metallscheiben hat man Wasser zum Kochen gebracht und durch letztere die Stubenöfen zu ersetzen versucht; Holz auf Schnee gerieben erwärmt sich (Schlitten); ebenso Wasser, Quecksilber u. a. Flüssigkeiten durch feste Körper, wie Holz, Metall; selbst Eis an Eis gerieben erwärmt sich. Wird unser Körper gerieben, so empfinden wir selbst auch Wärme (Scheintodte).

Wärme beim Prägen der Metalle zu Münzen, beim Durchstoßen von Löchern in Kupferplatten (zu Dampfkesseln z. B.); bei dem Zusammendrücken der Luft (das pneumatische Feuerzeug); beim Strömen von Luft in einen leeren Raum. (Wird die Verbindung zweier an einander geschraubten gleich großen Ballons, von denen der eine luftleer ist, hergestellt, so zeigt sich nach erfolgtem Gleichgewichte zwischen beiden Raümen in dem zuerst mit Luft erfüllten eine Erniedrigung, in dem anderen eine fast eben so große Erhöhung der Temperatur). Nur sehr geringe Wärme bei tropfbaren Flüssigkeiten, weil sich dieselben nur sehr wenig zusammen drücken lassen (Wasser leuchtet hierbei auch wie Luft).

Feuerschlagen mit Stahl und Stein; Knallsatze entzünden sich bei dem geringsten Schlage, Perkussionshütchen; Eisenstäbe werden durch Hämmern auf einem Ambos glühend.

Der wohlthätigste Erzeuger von Wärme für den Erdkörper ist die Sonne, welche nach ihrer verschiedenen Stellung gegen den beobachteten Körper und nach dessen natürlicher Beschaffenheit in Hinsicht des Stoffes, der Farbe und der Oberfläche verschiedene Grade von Wärme hervor ruft. Auf den von der Sonne beschienenen Dächern schmilzt der Schnee früher als auf horizontalen Flächen. Steine werden im Sommer bisweilen so heiß, daß sie kaum angefaßt werden können, schwarze oder dunkle Gegenstände (Kleider, Erdboden) werden wärmer, als weiße und helle.

Endlich sind auch die chemischen Prozesse, namentlich das Verbrennen, eine ergiebige Wärmequelle (Rumfords Kalorimeter). Wird z. B. zu konzentrirter Schwefelsaüre nach und nach oder auf einmal eine gewisse Menge Wasser gethan, so entwickelt sich ein gewisser Wärmegrad; kaltes Wasser auf gebrannten Kalk gegossen erzeugt viele Wärme; eine Mischung von Schwefel- und Sal-

petersäure in Terpentinöl gegossen; Schwefel und Eisenfeile mit Wasser zu einem dicken Brei geknetet; chlorsaures Kali mit Schwefelsäure in Berührung gebracht, zündet Schwefel an: Feuerzeug. Säuren in Verbindung mit einer Basis. In Haufen von Mist (besonders Taubenmist), feuchtem Heu, Getreide, Holz, Steinkohle entwickelt sich eine namhafte Wärme (Reisigbündel zur Verhütung der Selbstentzündung); feuchte Säge- und Eisenfeilspäne; ferner Wolle, Hanf, Flachs (oder graue Leinwand) mit Fett oder Öl begossen; Kienruß mit Öl getränkt und in Matten gewickelt entzündet sich leicht. Wärme im Innern des Erdkörpers, erzeugt durch chemische und elektrische Thätigkeit.

Die thierische Wärme ist eigentlich Folge eines Verbrennungsprozesses: der Körper nimmt durch die Nahrungsmittel nebst Wasser vorzüglich Kohlenstoff in sich auf, welcher sich mit dem Sauerstoffe der eingeathmeten Luft zu Kohlensäure, die man nebst Wasserdampf und Stickgas wirklich ausathmet, verbindet, also eigentlich verbrennt. Weil die Nordländer mehr Wärme an die kalte Umgebung abgeben, als die Bewohner warmer Länder, so verzehren sie überhaupt nicht nur mehr, sondern auch mehr kohlenstoffhaltige Nahrungsmittel, als diese. Aufenthalt im Freien, namentlich im Kalten, vermehrt die Eßlust; je mehr Sauerstoff eingeathmet wird, desto mehr müssen Nahrungsmittel genossen werden; Bewegung erhöht die Wärmeentwickelung des Körpers und das Verlangen nach Speise. Der menschliche Körper besitzt auf der ganzen Erde fast genau denselben Wärmegrad (37° C.); die Blutwärme der Vögel ist, weil sie schneller athmen, größer (40° bis 41° C.) als beim Menschen und ebenfalls unabhängig von der Umgebung; die der Amphibien und Fische ist aber wenig (1,5° bis 2°) von der Wärme des Wassers, in welchem sie leben, verschieden.

Es ist durch kein uns bekanntes Mittel möglich an den Körpern irgend eine Veränderung ihres absoluten Gewichtes zu beobachten, wenn sich auch der Grad ihrer Wärme, d. h. die Temperatur, verändert. Dessen ungeachtet bringt die Wärme an den Körpern sehr bedeutende Veränderungen hervor:

1) sie verändert mit einer außerordentlichen Kraftentwickelung das Volumen der Körper;

2) sie verändert ihren Aggregatszustand;

3) sie ist eine Lebensbedingung für die organischen Wesen und andererseits eine Folge des Lebensprozesses.

Jede Kraft, obwohl als solche etwas Abstraktes, ist an die Materie gebunden und ihre Größe ist direkt abhängig von der Menge der materiellen Theile und von deren Geschwindigkeit. Ist also für eine große Kraft die Materie als unendlich unbedeutend anzusehen, so muß deren Geschwindigkeit außerordentlich groß sein. Ohne daß wir für jetzt schon das Wesen der Wärme näher zu erforschen im Stande sind, dürfen wir mit Bestimmtheit dieselbe, gleich wie die Erscheinung des Schalles, als eine Bewegungserscheinung ansehen, welche aber an einen Stoff von unendlicher Feinheit, der im Weltraume verbreitet ist und alle Körper durchdringt (Äther) gebunden ist.

Aus dem oft gemeinsamen Auftreten der Wärme- und Lichterscheinungen läßt sich schon vermuthen, daß sie, aus derselben Grundursache entsprossen, auch gemeinsamen Gesetzen unterworfen sein werden.

II. Wirkungen der Wärme ins Besondere.

A. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

a) Im Allgemeinen. Es ist vor Allem wichtig ein Maß für die Abstufungen der Wärme kennen zu lernen. Unser Gefühl kann hierbei nicht

entscheidend sein; denn tritt Jemand z. B. aus einem heißen Zimmer in ein mäßig warmes, so wird er es kalt finden, während ein Anderer, welcher aus einem recht kalten in dasselbe kommt, es für warm hält.

Taucht man die eine Hand in kaltes, die andere zugleich in warmes Wasser, so wird, wenn man sie nachher beide zugleich in laues hält, dieses nach der Empfindung der einen Hand als warm, nach der der anderen als kalt erscheinen.

Zu einem besseren Resultate wird wohl die Erfahrung benutzt werden können, daß Vermehrung der Wärme bei einem Körper sein Volumen vergrößert. Um nun eine Skale für die Wärmezunahme zu bekommen, müßte man versichert sein, daß der angewendete thermoskopische Körper sich für gleichmäßige Zunahme der Wärme auch gleichmäßig ausdehnt, und um diese Ausdehnung leichter beobachten zu können, müßte ein Körper von überwiegender Längendimension genommen werden.

Die Erfüllung der ersten Bedingung ist nur durch eine Vergleichung der Ausdehnung verschiedenartiger Körper, welche derselben Temperaturveränderung ausgesetzt werden, möglich. Bei manchen Körpern ist die Ungleichmäßigkeit der Ausdehnung auffallend (z. B. eine eiserne Ofenthüre dehnt sich beim Einheizen stoßweise aus, wie das Knistern zeigt), bei anderen wird sie erst durch äüßerst genaue Abmessungen wahrgenommen. Für nicht große Wärmegrade ist Weingeist geeignet; vor Allem aber ist das Quecksilber nicht blos ein guter thermoskopischer, sondern auch ein ganz geeigneter thermometrischer Körper, nicht nur weil er erst bei großer Kälte gefriert und großer Hitze siedet, sondern weil er sich innerhalb der gewöhnlichen Temperaturen auch gleichmäßig und ziemlich stark ausdehnt.

Thermometer. Bei einer wohl kalibrirten engen Glasröhre ist das eine Ende zugeschmolzen, an das andere schließt sich eine ganz dünne kleine Glaskugel; letztere so wie ein Theil der ersteren ist mit sorgfältig gereinigtem Quecksilber gefüllt, der übrige Raum ist luftleer. Hält man die Kugel und Röhre, so weit sie mit Quecksilber gefüllt ist, in Wasser, worin sich aufthauendes Eis (oder Schnee) befindet, so wird, selbst wenn das Gefäß am Feuer (Spiritusflamme) steht, das Quecksilber ein bestimmtes Volumen haben, also in der Röhre auf einem bestimmten Punkte stehen bleiben, so lange noch aufthauendes Eis vorhanden ist, wenn nur das Wasser durch Umrühren überall dieselbe Temperatur hat und ganz frei ist von fremdartigen Bestandtheilen. Ist nun alles Eis aufgethaut und läßt man jenes Wasser mit dem Thermometer noch über dem Feuer, so steigt das Quecksilber in der Röhre und bleibt endlich, sowie das Wasser kocht, wieder auf einem bestimmten Punkte stehen, den es so lange festhält, als es noch im kochenden Wasser oder in seinen Dämpfen sich befindet. Zu einer bestimmten Zeit ist an einem bestimmten Orte auch dieser Punkt ein ganz bestimmter. Man hat nun durch diesen Versuch zwei Normalpunkte, den Thaupunkt des Eises und den Siedepunkt des Wassers gefunden, deren Entfernung nur in eine gewisse Anzahl gleicher Theile, Grade, getheilt zu werden braucht, um einen Wärmemesser zu haben. Da aber auch noch niedrigere und höhere Temperaturen, als die angeführten des Wassers zu messen sind, so trägt man eben solche Grade noch jenseits der beiden Punkte und nennt die Theile über dem Thaupunkte, dem Nullpunkte,

Wärmegrade (mit + bezeichnet), die unter demselben Kältegrade (mit — bezeichnet).

Celsius theilte die Normalentfernung in 100 gleiche Theile (Zentesimalgrade), Reaumur in 80, Fahrenheit in 180, wobei er vom Thaupunkte abwärts noch 32 Grade hat bis zu seinem Nullpunkte, einem künstlichen Frostpunkte in einer Mischung aus 1 Theile Kochsalz und 3 Theilen Schnee; am Siedepunkte steht daher 212.

Da 80^0 R = 100^0 C = 180^0 F oder 4^0 R = 5^0 C = 9^0 F sind, so läßt sich die Anzahl der Grade der einen Skale leicht in die einer anderen verwandeln, indem

$$n^0 R = n \cdot \tfrac{5}{4} C = n \tfrac{9}{4} + 32 F,$$
$$n^0 C = n \tfrac{4}{5} R = n \tfrac{9}{5} + 32 F \text{ und}$$
$$n^0 F = (n - 32) \tfrac{4}{9} R = (n - 32) \tfrac{5}{9} C \text{ sind.}$$

Man kann das Quecksilberthermometer anwenden bis zu + 360 und — 35 Graden. Darüber hinaus kommt man in jenem Falle dem Siedepunkte (+ 400°), in diesem dem Gefrierpunkte (— 40° C.) des Quecksilbers zu nahe, wo die Ausdehnung desselben nicht mehr gleichmäßig ist. — Die Erfahrung zeigt, daß der Nullpunkt eines bald nach Anfertigung der Kugel gefüllten Thermometers mit der Zeit etwas höher rückt, als ob die Kugel kleiner geworden wäre. Diese Thatsache kann wohl nur von dem Drucke der Atmosphäre auf die Glaskugel herrühren und deßhalb muß man die Graduirung erst einige Monate nach der Füllung bewirken. — Man hat Thermometer konstruirt, die 0,01 eines Fahrenheitschen Grades noch genau angeben. — Maximum- und Minimum-Thermometer oder Thermometrograph.

b) Ausdehnung fester Körper. Wenn die Wärme alle Körper ausdehnt, so wirkt sie der Kohäsionskraft entgegen. Da nun diese bei den festen Körpern am größten ist, so hat die Wärme bei ihnen auch den größten Widerstand zu überwinden. Dieser Widerstand wird immer geringer, je größer die bewirkte Ausdehnung bereits ist; also muß die Ausdehnung bei einem bestimmten Körper, wenn er bereits eine höhere Temperatur erlangt hat, für eine bestimmte Zunahme der Wärme größer sein, als wenn er diese Zunahme bei niedrigerer Temperatur erfährt und kann auch bei verschiedenen Körpern und gleicher Temperaturveränderung nicht gleich sein.

Bei der Ausdehnung fester Körper unterscheidet man die lineare Ausdehnung von der kubischen.

α) Die lineare Ausdehnung. Wenn eine Stange von Eisen z. B. bei 0° C. eine Ausdehnung von 2′ hat, so wird sie bei 100° C. 2,0024′ lang sein; sie ist also um 0,0024 länger geworden. Ihre ursprüngliche Länge verhält sich zu der Verlängerung bei 100° wie 2 : 0,0024 = 1 : 0,0012 und sie hat sich also um 0,0012 ihrer ursprünglichen Länge ausgedehnt. Die Zahl, welche anzeigt, um den wievielten Theil seiner Länge sich ein fester Körper ausdehnt, wenn er von 0° bis 100° erwärmt wird, heißt sein Ausdehnungskoeffizient (k). Man findet k, wenn man die Ausdehnung a, welche der Körper für die Temperaturerhöhung von 0° bis 100° erleidet, durch seine ursprüngliche Länge l dividirt; also $k = \frac{a}{l}$. Da sich die meisten Körper innerhalb dieser Temperaturgränzen bei gleicher Wärmezunahme fast gleichförmig ausdehnen, der eine mehr, als der andere; so ist der Ausdehnungskoeffizient k′ für 0° gleich $\frac{k}{100}$, also

die Länge des Körpers bei 0° ist gleich $l + k'l = (l + k')\,l$ und bei n° gleich $l + nk'l = (l + nk')\,l$. Jeder bestimmte Körper hat seinen besonderen Ausdehnungskoeffizienten.

Die Ausdehnung der Körper bei Vergrößerung und ihre Zusammenziehung bei Verminderung der Temperatur ist mit einer ungeheuren Kraftentwickelung verknüpft, die im ersten Falle die rückwirkende, im zweiten die absolute Festigkeit überwindet, wenn die Temperaturveränderung eine auch nur geringe Gränze überschreitet.

Die Ausdehnungsfähigkeit verschiedener Metalle ist im Allgemeinen ihrer Schmelzbarkeit proportional. Genau eingepaßte Eisenstangen biegen sich, stoßen den stützenden Körper fort, zersprengen ihn oder biegen sich selbst oder zerreißen. — Schlüpft eine Metallkugel durch einen Metallring bei derselben Temperatur nur eben hindurch, so geht sie erwärmt nicht mehr hindurch. — Schlägt man einen Metallreifen glühend um trockenes Holz, so umschließt er beim Erkalten dasselbe sehr fest. — Bei Röhrenleitungen windet man Bleistreifen um das Ende eines Röhrenstückes, welches in eine nächst folgende Röhre gesteckt werden soll. — Vorsicht bei Dächern aus Metallplatten, bei eisernen Geländern, Ankern an Gebaüden. — Kann das in Formen gegossene Metall beim Erkalten sich nicht gehörig zusammen ziehen, so zerreißt es in Stücke; es füllt auch die Form nicht mehr vollständig aus. — Wenn bei Glasgefäßen eingeriebene Stöpsel nicht heraus gehen wollen, so umschlingt man den Hals des Gefäßes da, wo der Stöpsel ist, zweimal mit einem festen Bindfaden und schleift, indem man seine beiden freien Enden erfaßt, denselben möglichst rasch hin und her. — Werden zwei gleich lange Streifen verschiedener Metalle an den Enden zusammen genietet oder gelöthet und liegen sie bei einer gewissen Temperatur in grader Richtung, so werden sie bei größerer oder geringerer Wärme sich nach entgegen gesetzten Seiten hin krümmen (Kompensationsstreifen). — Haften zwei verschiedenartige Körper bei gewisser Temperatur gut an einander (z. B. Metall und Siegellack), so trennen sie sich bei abnehmender Temperatur von einander. — Gießt man in ein kaltes Glas eine heiße Flüssigkeit oder setzt man es auf eine heiße Stelle, so springt es um so eher, je dicker es ist und je schneller es selbst bei der Anfertigung abgekühlt worden. — Krystalle, die dem regulären Systeme nicht angehören, dehnen sich nach verschiedenen Richtungen ungleich stark aus. — Mittel der Schiffsbauer, Böttcher u. A. Holzplanken und Stäbe zu biegen. — Das Quadrantenthermometer; Breguets Metallthermometer aus einem sehr zarten Bande von Silber, Gold und Platina. — Das Kompensationspendel.

β) Die kubische Ausdehnung eines Körpers ist die Vergrößerung seines Volumens bei Temperaturerhöhungen. Wenn sich das Quecksilber bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° um 0,018 seines Rauminhaltes ausdehnt, so ist diese Zahl sein Ausdehnungskoeffizient. Ist dieser für die Linearausdehnung eines würfelförmigen Körpers k, so ist die Länge jeder Kante, wenn sie für 0° l war, bei 100° $l + kl = (l + k)\,l$, also der Rauminhalt r' des Körpers im ersten Falle l^3, im anderen $r'' = (l + k)^3\, l^3 = (l + 3k + 3k^2 + k^3)\, l^3$. Da aber k so sehr klein ist, so können $3k^2$ und k^3 wegfallen und es wird $r'' = (l + 3k)\, l^3 = l^3 + 3kl^3$ sein; also ist r' gewachsen um $3kr'$; d. h., der Ausdehnungskoeffizient für den Rauminhalt r' ist 3k oder er ist nahe dreimal so groß, als der Ausdehnungskoeffizient für die lineare Ausdehnung. Ist z. B. die lineare Ausdehnung des Glases 0,000862, so ist die kubische 0,002586 und daraus läßt sich die vermehrte Kapazität eines erwärmten Glasgefäßes berechnen. Ist sein Inhalt bei 0° 1000 Quart, so ist er bei 100° $100\,(1 + 0{,}00258) = 1002{,}58$ Quart.

18*

Scheinbare Ausnahme von der Volumenvergrößerung durch Wärme beim Trocknen von Holz, Obst, Lehm, Thon — Pyrometer —; von der Volumenverkleinerung durch Kälte beim Eise, welches auf Wasser schwimmt, also spez. leichter ist; beim festen Schwefel, der auf geschmolzenem schwimmt; beim Eisen u. a. weßhalb diese Körper sehr gut die Gestalt der Formen annehmen, in welche man sie gießt.

c) Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten. Bei flüssigen Körpern ist die Kohäsionskraft geringer, als bei festen; daher wird die ausdehnende Kraft der Wärme bei ihnen einen geringeren Widerstand zu überwinden haben, als bei festen und deßhalb im Stande sein, dieselben um so mehr auszudehnen, je wärmer sie bereits sind und je geringer ihre ursprüngliche Kohäsionskraft ist. Verschiedene Flüssigkeiten haben verschiedene Ausdehnungskoeffizienten. Man unterscheidet die absolute Ausdehnung von der scheinbaren oder relativen.

α) Unter der absoluten Ausdehnung der Flüssigkeiten versteht man die von dem einschließenden Gefäße ganz unabhängige Ausdehnung derselben. Man hat dieselbe mit Benutzung des hydrostatischen Prinzips gefunden, daß in verbundenen Röhren die Höhen von Flüssigkeitssaülen sich beim Gleichgewichtszustande wie umgekehrt ihre Dichtigkeiten verhalten. Hierbei wird die eine Saüle auf 0° erhalten und die andere nach und nach bis 100° erwärmt. So ist gefunden worden, daß sich das Quecksilber um $\frac{1}{55,5} = 0{,}018018$ (für jeden Grad um 0,00018018) seines Volumens ausdehnt; d. h. war sein Volumen bei 0° gleich v, so ist es bei 100° gleich 0,018 . v. Über 100° hinaus wächst sein Ausdehnungskoeffizient etwas, wie es die gleichzeige Beobachtung eines Luftthermometers beweiset.

1) Barometerkorrektion wegen der Quecksilber-Temperatur. Diese ist wichtig für die Größe des aus dem beobachteten Barometerstande abzuleitenden Luftdruckes. Bei einem bestimmten Luftdrucke wird für eine höhere Temperatur des Quecksilbers der Barometerstand größer sein, als bei einer geringeren. Es ist also zur Vergleichung der Barometerstände nothwendig, dieselben auf eine bestimmte Temperatur des Quecksilbers, z. B. auf 0° zurück zu führen, also von dem bei höherer Temperatur beobachteten Stande die Korrektionszahl abzuziehen, bei niederer zu addiren. Ist der bei der Temperatur $\pm t^0$ beobachtete Barometerstand b, so ist der auf 0° reduzirte $b \pm 0{,}00018\,b\,.\,t$. — Berücksichtigte man die Temperatur des Quecksilbers nicht, so würde man die Erhebung mit dem Barometer über den Horizont bei Wärmegraden für zu niedrig, bei Kältegraden für zu hoch oder den Luftdruck in jenem Falle für zu groß, in diesem für zu klein ansehen.

2) Ausdehnung des Wassers. Bei der Untersuchung der absoluten Ausdehnung des Wassers findet man, daß es bei der Erwärmung von 0° bis zu 3,94° C. sich zusammenzieht und erst bei noch größerer Erwärmung auszudehnen beginnt, so daß es etwa bei 8° wieder denselben Raum einnimmt, wie bei 0°. Bei der Erwärmung von 3,9° bis 100° dehnt es sich von 1 bis zu 1,04315 aus. Wenn man also umgekehrt dasselbe von 100° an abkühlt, so zieht es sich bis zu 3,9° zusammen und dehnt sich von da bis 0° wieder aus, so daß Eis selbst einen größeren Raum einnimmt, als das zu seiner Bildung verwendete Wasser und erst dann, wenn es zu Eis geworden ist, wieder dem allgemeinen

Gesetze folgt. **Wasser hat also bei 3,9° seine größte Dichtigkeit, d. h. sein größtes spezifisches Gewicht**, und auch die größte **Kohäsionskraft**, welche aber von da rascher abnimmt, als die Dichtigkeit.

Dieses läßt sich auf andere Weise leicht bestätigen. Bringt man in ein etwa 8 Zoll hohes und 3 Zoll weites mit warmem Wasser gefülltes Glasgefäß zwei Thermometer, das eine 2" vom Boden, das andere 2" unter dem Niveau, so steht bei dem von den äußeren Wänden des Gefäßes beginnenden Erkalten des Wassers anfangs das untere Thermometer niedriger, als das obere, weil eine Wasserströmung wie Fig. 241,a entsteht; hat aber das Wasser bei 3,9° C sein Dichtigkeitsmaximum erreicht, so stehen die Thermometer gleich; wird nun das Abkühlen fortgesetzt, so entsteht eine entgegen gesetzte Strömung (Fig. b) und das untere Thermometer steht höher, als das obere.

Auf heißem Wasser sinkt ein Körper tiefer ein, als auf kaltem; am wenigsten bei 3,9°. Es ist daher zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der verschiedenen Körper nothwendig, daß nicht nur sie selbst eine bestimmte Temperatur haben, sondern daß auch das verwendete absolut reine Wasser dieselbe bestimmte Temperatur besitze.

Gefriert das Wasser in verschlossenen Gefäßen, in Bomben, Felsenspalten, Wasserleitungsröhren, Mauern, so werden diese Körper mit ungeheurer Gewalt zersprengt; Baüme bekommen bei strenger Winterkälte Sprünge; ist eine Flasche mit Wasser bis oben gefüllt, so krystallisirt ein Eispfropfen heraus. Das Erdreich wird durch den Winterfrost gelockert.

3) **Eisbildung auf ruhigen und fließenden Gewässern.** Nur dadurch, daß die größte Dichtigkeit des Wassers über 0° liegt und daß das Eis so wie Wasser selbst die Wärme schlecht fortleiten, ist es möglich, daß die Gewässer in der Tiefe, selbst bei großer Kälte, nicht gefrieren und die dasselbe bewohnenden Geschöpfe in allen Jahreszeiten darin leben können.

aa) Das an der Oberfläche eines ruhigen Teiches oder Sees sich abkühlende Wasser sinkt auf den Boden, das wärmere steigt in die Höhe und wird auch abgekühlt; ist aber die Abkühlung bis 3,9° geschritten, so lagert sich das Wasser von dieser Temperatur am Boden und bleibt daselbst, wenn auch das Wasser darüber noch kälter wird, weil letzteres ja leichter ist. Hat sich nun die Kälte an der Oberfläche bis zur Eisbildung gesteigert, so verhindert dann die spezifisch leichtere und schlecht leitende Eisdecke, so wie das darunter befindliche Wasser selbst ein weiteres Eindringen der Kälte.

bb) Bei einem Gewässer mit fortschreitender Bewegung wird die Temperaturerniedrigung allerdings ziemlich schnell bis auf den Grund fortgeführt und es bildet sich daselbst an den festen Körpern Eis, **Grundeis**, welches sich aber wegen seiner Leichtigkeit bald von ihnen losreißt, sie zum Theil mit sich fortführend (im Rheine werden die starken Ankerketten der Schiffsbrücken nicht selten mit heraufgenommen), bis es sich an der Oberfläche in so großer Menge ansammelt, daß es bei zunehmendem Froste eine Decke bildet, welche das weitere Gefrieren des Wassers unmöglich macht.

β) Die relative oder **scheinbare Ausdehnung** ist von der Ausdehnung des Gefäßes abhängig und wird an dem sich gleichzeitig ausdehnenden Gefäße beobachtet; sie ist der Unterschied zwischen ihrer absoluten und der raümlichen Ausdehnung des einschließenden Gefäßes. Hat ein weiteres Gefäß einen sehr engen Hals (Fig. 242.) und einen trichterförmigen Aufsatz, so kann man es leicht dahin bringen, daß eine eingefüllte

Flüssigkeit bei 0° bis zu einem bestimmten Zeichen am Halse steht. Nun wird von dem Gewichte des Ganzen das des Gefäßes abgezogen, um das Gewicht der Flüssigkeit bei 0° zu bekommen. Bei der Erwärmung des Ganzen tritt Flüssigkeit in den Trichter, aus welchem sie leicht bis zu dem Zeichen am Halse entfernt werden kann. Nach einer zweiten Abwägung läßt sich leicht die scheinbare Ausdehnung berechnen.

Man kann auch aus der Menge der aus einem Gefäße mit einer engen und abwärts gekrümmten Röhre bei der Erwärmung tretenden und aufgefangenen Flüssigkeit die scheinbare Ausdehnung ermitteln.

Ist an einer engen Röhre eine mit Weingeist gefüllte Kugel und taucht man letztere schnell in heißes Wasser, so fällt der Weingeist in der Röhre zuerst, ehe er steigt.

d) Ausdehnung der gasförmigen Flüssigkeiten. Da bei fast allen gasförmigen Körpern die Wirkung der Kohäsionskraft auf die einzelnen Theilchen gleich Null ist, so müssen sie durch die Wärme am meisten ausgedehnt werden. Es hat aber sehr große Schwierigkeiten die verschiedenen Gase in absoluter Reinheit und Trockenheit zu erhalten.

Der Koeffizient bei gleichem Drucke ist von

atmosphärischer Luft	0,3667;	Kohlensaüre	0,3700;
Wasserstoffgas	0,3658;	Stickstoffoxydulgas	0,3720;
Kohlenoxydgas	0,3669;	Cyangas	0,3877;
Schwefliger Saüre	0,3867;		

woraus sich ergiebt, daß der Ausdehnungskoeffizient eines Gases im Allgemeinen um so größer wird, je leichter es durch Druck flüssig wird. Er wächst auch durch Vermehrung des Druckes.

α) Pyrometer. Die Ausdehnung der atmosphärischen Luft wird zur Bestimmung sehr hoher Wärmegrade benutzt. Graduirte und nach Art der Quecksilberthermometer eingerichtete Apparate (Gay-Lussak) sind aber dazu nicht anwendbar, weil bei verändertem Barometerstande ungeachtet derselben Temperatur der Stand sich ändert. — Man bringt ein mit vollkommen trockener Luft gefülltes Behälter (aus Platin, Glas), welches mit einer ganz feinen Spitze versehen ist, an den Ort, dessen Wärme zu messen ist, bestimmt die Menge Quecksilber, welche beim Erkalten durch die feine Spitze in das Gefäß bringt, so wie die zur Füllung des ganzen Gefäßes nothwendige. Das Verhältniß der beiden Quecksilbermengen giebt mit Benutzung des bekannten Ausdehnungskoeffizienten den Temperaturunterschied an.

Dadurch hat man gefunden, daß ein Quecksilberthermometer über 100° hinaus höhere Temperaturen angiebt, als das Luftthermometer. Beim Differenzialthermometer ist auch Luft der thermoskopische Körper.

β) Einfluß der Lufttemperatur auf den Barometerstand.

1) Findet an der Erdoberfläche eine örtliche Erwärmung statt, so hat dies auch eine Erwärmung der Luftsaüle darüber, also eine Erhöhung und oberhalb ein Abfließen der Luft, somit eine Verminderung des Luftdruckes und ein Fallen des Barometers zur Folge. Bei einer örtlichen Abkühlung an der Erdoberfläche bildet sich an der oberen Gränze der Atmosphäre eine Vertiefung, in welche von den Seiten die andere Luft zufließt und so den Druck auf das Barometer vermehrt. Eine Erhöhung des Barometerstandes kann auch stattfinden, wenn in der Umgebung ein bedeutendes Steigen der Temperatur vorkommt.

2) Da Wärme die Luft bedeutend ausdehnt, also leichter macht, so ist bei Höhenbestimmungen mit Barometern eine Korrektion anzubringen, wenn die Temperatur nicht eine bestimmte, z. B. 0° ist, indem die berechnete Höhe bei Wärmegraden zu klein, bei Kältegraden zu groß ist. Für jeden Zentesimalgrad dehnt sich die Luftsaüle um 0,003667 ihrer eigenen Länge aus. Hat die Luftsaüle unten und oben gleiche Temperatur, so nimmt man das arithmetische Mittel zwischen ihnen.

γ) Spezifisches Gewicht der Gase. Wegen der großen Ausdehnung der Gase durch die Wärme ist diese bei der Bestimmung der Dichtigkeit jener sehr wichtig und macht es nothwendig, daß das spezifische Gewicht für alle Gase bei derselben Temperatur, (0°) und bei demselben Barometerstande (28″) angegeben werde. Ein mit Wasser angefüllter Glasballon wiege 10000 Gran und mit trockener Luft angefüllt wiege er 12,94 Gran mehr, als der luftleere; dann ist das spezifische Gewicht der Luft $\frac{12{,}94}{10000} = 0{,}001294$. Weiß man aus der Barometerprobe, daß der Ballon nicht luftleer ist, sondern noch eine gewisse Menge Luft von einer bestimmten Spannung enthält, daß ferner die Temperatur nicht 0° und der Barometerstand nicht 28″ ist, so ist es nothwendig aus dem Experimente durch Rechnung das wahre Resultat zu finden.

Wie lange die verschiedenen Gase gleiche Temperaturen besitzen und demselben Drucke ausgesetzt sind, so lange haben ihre Dichtigkeiten stets dasselbe Verhältniß zu einander. Es ist also zur Bestimmung des spez. Gew. der verschiedenen Gasarten nur nothwendig unter den obigen Bedingungen das Verhältniß der absoluten Gewichte bei gleichen Raümen anzugeben.

Wiegt trockene atmosphärische Luft in einem Ballon 1000, kohlensaures Gas 1524, so ist des letzteren spez. Gew. 1,524; das des Sauerstoffes ist 1,1026; des Wasserstoffes 0,0688; des Chlor 2,4216; des Jodwasserstoffes 4,4288.

B. Veränderung des Aggregatszustandes der Körper durch die Wärme.

Eine höchst wichtige Veränderung bringt die Wärme in den Körpern dadurch hervor, daß sie ihren Aggregatszustand verändert. So wie verschiedene Körper bei derselben Temperatur in verschiedenen Aggregatszuständen erscheinen, eben so werden sie bei verschiedenen Temperaturen denselben Aggregatszustand annehmen. Der Schmelzpunkt der verschiedenen festen Körper ist ebenso verschieden, als der Siedepunkt der Flüssigkeiten; auf gleiche Weise ist der Gefrier- und Kondensationspunkt verschieden. Wie lange ein bestimmter Körper einen bestimmten Aggregatszustand hat, so lange können an ihm verschiedene Temperaturen wahrgenommen werden; aber in dem Augenblicke der Verwandlung seines Aggregatszustandes ist seine Temperatur bei einem bestimmten Drucke unveränderlich dieselbe.

a) Verwandlung fester Körper in tropfbar flüssige und umgekehrt.

α) Durch mechanische Mittel ist man selbst bei großer Kraftanwendung nicht im Stande feste Körper in flüssige zu verwandeln; bringt man sie aber mit einer Wärmequelle irgend einer Art in Verbindung, so dehnen sie sich um so mehr aus, eine je höhere Temperatur sie zeigen, wobei jeder einzelne Körper von einer bestimmten Materie bis zu einer gewissen Temperatur noch fest bleibt und dann flüssig wird, d. h. schmilzt, wenn er sie erreicht hat, wobei er sie während des Schmelzens nicht

ändert, ungeachtet ihm fortwährend Wärme zugeführt wird: der *Schmelzpunkt*. Alle zugeführte Wärme dient jetzt nur dazu, den Aggregatszustand des Körpers zu ändern; diese Wärme verbirgt sich gleichsam in die Materie, wird *gebunden* (latente W.), ohne für das Gefühl oder Thermometer wahrnehmbar zu sein.

Diese Wärmeabsorption findet ebenso bei der *Auflösung* fester Körper in flüssigen statt.

Gießt man auf 1 Pfd. Schnee von 0° 1 Pfd. Wasser von 79,25° C, so erhält man bei den nöthigen Vorsichtsmaßregeln Wasser von 0°. Der Schnee bindet beim Flüssigwerden die sämmtliche Wärme des Wassers; 1 Pfd. Wasser von 0° enthält 79,25° Wärme mehr, als 1 Pfd. Eis von 0°. — Wird Salpeter in Wasser aufgelöst, so sinkt die Temperatur des letzteren. — Mischt man zu Schnee von — 10° Kochsalz von — 10°, so entsteht eine flüssige Salzlösung von niedrigerer Temperatur. — Ein Gewichtstheil Kochsalz mit 3 Theilen Schnee von 0° geben eine Kälte von — 17°. — Drei Theile salzsaurer Kalk mit 2 Theilen Schnee eine von — 28°. — Ein Theil verdünnte Schwefelsaüre und 1 Theil Schnee gehen von — 7° bis auf — 51°.

Blei kann man in einem papiernen Tiegel schmelzen. — Steht auf einem Becken mit glühenden Kohlen ein metallener Teller mit Schnee und auf diesem ein anderer mit etwas kaltem Wasser, so gefriert letzteres. — Manche Körper schmelzen leichter, wenn ihnen andere zugefügt werden, so dem Eisen Schwefel, dem Silber und Kupfer Zinn und Blei; leicht flüssige Metallgemische aus Zinn, Wismuth, Blei.

Quecksilber schmilzt bei . . .	— 39°	Zinn schmilzt bei	230°
Terpentinöl	— 10°	Wismuth	256°
Seife	+ 33°	Blei	334°
Phosphor	43°	Roses Gemisch (3 Z., 8 W., 5 B.)	100° C.
Gelbes Wachs	61°	Stahl	1300 — 1400
Silber	1000°	Gehämmertes Eisen	1600.
Gold	1250°		
Schwefel	109°		

Da ein bestimmtes ganz reines Metall auch einen bestimmten Schmelzpunkt hat und ebenso in einem bestimmten Verhältnisse bereitete Legirungen, so ist damit ein sicherer Maßstab für ein Pyrometer gegeben.

Zwischen dem Schmelzpunkte des Silbers und dem des Goldes lassen sich 10 Grade annehmen, die man dadurch erhält, daß man jenem immer 10 Prozent von diesem zusetzt. Zwischen den Schmelzpunkten des Goldes und Platins liegen 100 Grade, die man durch allmähliges Zusetzen von 1 Prozent Platin zum Golde erhält. Hat man nun mit Hilfe des früher angegebenen Luftthermometers die Schmelzpunkte auf Thermometergrade reduzirt, so hat man ein durchgreifendes Mittel zu vergleichenden Bestimmungen aller möglichen Temperaturen. Man bedarf übrigens in diesem Falle nur kleiner Metallmengen, etwa von der Größe eines Stecknadelkopfes.

β) Geht ein tropfbarer Körper in den Zustand eines festen zurück, so geschieht dies für jeden Körper meist auch bei einer bestimmten Temperatur, dem Gefrierpunkte (dem früheren Schmelzpunkte), und es muß ein Theil der in ihm gebundenen Wärme *frei* oder für das Thermometer wahrnehmbar werden.

Geschieht das Festwerden *allmählig*, so ist die frei werdende Wärme nur schwer wahrnehmbar, weil die latente Wärme des ersten fest werdenden Theilchens auf das benachbarte noch flüssige übergeht, aber nicht bedeutend genug ist, um sein Erstarren auf lange zu verhindern und auf diese Weise verschwindet (z. B. im Wasser bei dem langsamen Wachsen

der Eisnadeln) die allmählig frei werdende Wärme, ohne wahrgenommen zu werden.

Anders ist es bei dem plötzlichen Festwerden eines Körpers. Kocht man destilirtes Wasser in einer Glasröhre mit einer engen Mündung, schmelzt während des Kochens letztere zu, so kann das Wasser bei ruhigem Stehen bis zu — 12° abgekühlt werden, ohne zu gefrieren.

Daſſelbe erreicht man auch, wenn man bei größerer Winterkälte das Wasser in einem offenen Gefäße mit einer Ölschicht versieht. Eine kleine Erschütterung aber reicht dann hin, die ganze Wassermenge plötzlich in Eis zu verwandeln, wobei ein darin befindliches Thermometer von — 12° plötzlich auf 0° steigt.

Schmelzt man unterschwefligsaures Natron in seinem eigenen Krystallwasser (bei 45°), erhitzt es bis zum Kochen, verschließt dann den Glaskolben mit einem Korke und läßt die Flüssigkeit allmählig bis zur Temperatur der Umgebung erkalten, so steigt ein vorsichtig hinein gehaltenes Thermometer auf einmal um 18 bis 20 Grade, wenn die plötzliche Krystallisation der ganzen Masse eintritt.

Löst man 3 Theile Glaubersalz (schwefelsaures Natron) in 2 Theilen Wasser von hoher Temperatur, gießt über die Auflösung etwas Öl und hält dann in die allmählig kalt gewordene Auflösung einen festen Körper, so entstehen plötzlich eine Menge Glaubersalzkrystalle und die Temperatur steigt um 15 bis 20 Grade.

Auf der latenten Wärme des Wassers beruht das allmählige Gefrieren desselben bei schnell eintretender Winterkälte und das nur allmählige Aufthauen bei plötzlich beginnender Frühlingswärme. — Setzt man in flachen Kellern zu Früchten Gefäße mit Wasser, so schützt die latente Wärme desselben jene einige Zeit vor dem Gefrieren.

Bei der Verbindung eines tropfbar flüssigen Körpers mit einem festen (wenn der flüssige fest wird) muß auch Wärme frei werden. Bei schnellem Festwerden erlangt der Körper keine regelmäßige Gestalt; geschieht dies aber langsam, so ordnen sich die Theile eines bestimmten Körpers zu einer bestimmten Form, d. h. sie krystallisiren, wobei ebenfalls Wärme frei wird, ja sogar nicht selten sich Lichterscheinungen zeigen.

Kaltes Wasser auf frisch gebrannten Kalk gegossen erhitzt sich bei der Verbindung mit ihm bedeutend. Krystallisation von Wismuth, Schwefel u. s. w. Krystalldrusen. — Beim Erkalten von Metalllegierungen ist ein nach dem Mischungsverhältnisse veränderlicher und ein beständiger, davon unabhängiger mit dem Schmelzpunkte des streng flüssigen Metalls zusammen fallender Temperaturgrad wahrnehmbar. — Salzwasser gefriert bei niedrigerer Temperatur, als reines. — Bringt man gefrornen Wein in kaltes Wasser, so wird, während sich an der Außenfläche der Flasche das Wasser zu Eis verwandelt, Wärme frei, welche den Wein in der Flasche schmelzt. — Gefrorne Früchte thauen unter denselben Umständen in kaltem Wasser allmählig auf, wodurch sie wieder genießbar werden. Erfrorne Glieder reibt man mit Schnee.

b) Verwandlung der tropfbar flüssigen Körper in elastisch flüssige und umgekehrt.

α) Wird ein tropfbar flüssiger Körper der Wärme ausgesetzt, oder der Druck auf ihn hinreichend vermindert, so tritt eine Veränderung ein, die zwei Stufen hat.

1) Es vermindert sich seine Masse von außen, ohne eine sichtbare Veränderung, d. h. er verdunstet, wird allmählig in Dunst verwandelt.

Die Wassermenge in jedem offenen Behälter vermindert sich bei allen Temperaturgraden, es wird Wassergas entwickelt, was in der Luft schwebt und von

ihr fortgetragen wird; feuchte Wäsche trocknet; selbst feste Körper, wie Eis, Schnee, Kampfer schwinden. — Man hält die Dünste für äußerst zarte Gasbläschen, die mit einer sehr dünnen Hülle des betreffenden Körpers umgeben sind.

2) Hat die Flüssigkeit eine gewisse Temperatur erreicht, so geräth sie in eine heftige Bewegung, indem aus allen Theilen, vorzüglich denen, welche der Wärmequelle am nächsten liegen, eine Menge kleiner oder größerer Blasen emporsteigen, sich dabei vergrößeren und, wenn sie mit der Luft in Berührung treten, scheinbar spurlos sich in derselben verlieren, d. h. die Flüssigkeit **kocht**, sie wird rasch in **Dampf** verwandelt.

Noch vor dem Kochen oder Sieden verliert die Flüssigkeit die in ihr enthaltene Luft in Gestalt von kleinen Bläschen, die sich anfänglich an die Gefäßwände setzen und dann entweichen. Später entwickeln sich Dampfbläschen, welche, wenn die Erwärmung von unten geschieht, beim Emporsteigen sich verkleinern, in dem oberen Theile der Flüssigkeit vergehen und das dem Kochen vorhergehende eigenthümliche Summen erzeugen.

Zwischen Dunst und Dampf ist kein wesentlicher Unterschied. Beim Verdunsten lösen sich von dem Körper äußerlich Theilchen ab, wobei er selbst eine veränderliche Temperatur hat; beim Kochen auch von innen, wobei aber die Temperatur beständig ist. Dunst und Dampf bezeichnen den gasförmigen Zustand eines früher fest oder flüssig gewesenen Körpers.

Eben so wenig als Wasser sind auch seine Dämpfe ein einfacher Körper, denn sie lassen sich durch eine enge glühende Platinröhre, durch eine solche Platinkugel oder durch einen Eisendraht, den die Elektrizität zum Glühen gebracht hat oder mittelst eines elektrischen durch sie schlagenden Funkens in Knallgas (1 Vol. Sauerstoff + 2 Wasserst.) zerlegen.

Wie lange nun eine Flüssigkeit kocht, so lange wird die zugeführte Wärme bei gleichbleibendem Drucke nicht zur größeren Erwärmung der Flüssigkeit, sondern zur Verwandlung ihres Aggregatszustandes verwendet, oder es wird auch hier wie bei der Verwandlung fester Körper in flüssige und bei der Verdunstung Wärme **gebunden**, welche mit dem Dampfe entweicht. Die Dämpfe selbst aber zeigen, so lange sie ihren Aggregatszustand behalten, wie jeder andere Körper von einem bestimmten Aggregatszustande die ihnen ferner zugeführte Wärme als eine **freie** und durch das Thermometer wahrnehmbare, wobei ihre Expansivkraft wächst.

Ist unser Körper naß, besonders von Weingeist oder Äther, so haben wir die Empfindung von Kälte; die vermehrte Ausdünstung desselben im Sommer wirkt abkühlend; Erkältung beim Schwitzen leicht möglich; Empfindung von Kälte bei feuchten Winden; Schiffer beurtheilen mit einer nassen Hand die Windrichtung; Abkühlung der Luft nach einem Regen, durch Sprengen mit Wasser in Stuben; in porösen Thongefäßen hält man in heißen Gegenden Wasser kühl (Kühlgefäße, Alcarazzas), auch umschlägt man die Gefäße mit nassen Sachen; lebende Pflanzen haben wegen der Ausdünstung durch die Poren meist eine niedrigere Temperatur, als die umgebende Luft; der thierische Körper behält selbst in der heißesten Luft seine zum Bestehen nothwendige Normalwärme (der Mensch 37° C.), denn seine Ausdünstung ist stets der Wärme proportional. Gräbt man Flaschen mit Wein u. drgl. in feuchte Erde und macht darüber eine kurze Zeit Feuer, so kühlt die Flüssigkeit ab; in Papierdütten läßt sich Wasser kochen. — Einige Tropfen Wasser in einem mit Lampenruß geschwärzten Uhrglase oder einer dünnen Metallschale gefrieren durch ihre eigene Verdunstung unter dem Rezipienten der Luftpumpe bei recht starker Verdünnung, besonders wenn das Uhrglas auf konzentrirter Schwefelsäure schwimmt, durch welche die entstandenen Wasserdünste schnell absorbirt werden. — Wenn von zwei dünnen durch eine ziemlich lange Röhre verbundenen Glaskugeln die eine a etwas Wasser enthält, während der ganze übrige Raum luft-

leer ist und man bringt die andere b in eine Kältemischung (Schnee mit Salmiak), wodurch die in ihr enthaltenen Wasserdünste in Wasser verwandelt werden; so gefriert das Wasser in a bei seiner fortwährenden raschen Verdunstung (Wollastons Kryophorus). — Auch durch rasches Verdunsten vom Schwefeläther kann Wasser unter dem Rezipienten der Verdünnungspumpe zum Gefrieren gebracht werden. — Man kann sogar in einem roth glühenden Platinatiegel Quecksilber schnell zum Gefrieren bringen, wenn man in den Tiegel Äther, dazu starre Kohlensaüre und auf das sphäroidale Gemenge eine Metallschale mit etwa 30 Grammen Quecksilber bringt. — Wird die Thermometerkugel mit einem Stückchen Waschschwamm oder mit Musselin umhüllt, dann mit Wasser befeuchtet, so sinkt (wenn nicht etwa die Luft bereits mit Dünsten gesättigt oder übersättigt ist und keine mehr aufnehmen kann) das Quecksilber und zwar im Sonnenscheine noch besser, als im Schatten; noch mehr bei der Befeuchtung mit Spiritus oder mit Schwefeläther, besonders wenn man es bewegt Bei Befeuchtung mit flüssiger schwefliger Saüre gefriert durch deren rasche Verdunstung sogar das Quecksilber in der Kugel. — Ebenso, wenn man die Thermometerkugel, mit Schwefeläther befeuchtet, neben einer Schale mit Schwefelsaüre in dem luftverdünnten Raume des Rezipienten hat. Die Verdunstungskälte ist nach den angeführten Fällen um so größer, je niedriger der Siedepunkt der angewendeten Flüssigkeit liegt — Da die zu tropfbaren Flüssigkeiten verdichteten Gase, wie schweflige Saüre, Kohlensaüre, Stickstoffoxydulgas, sehr schnell verdunsten, so erzeugen sie in der Umgebung auch eine äußerst bedeutende Kälte; die größte bis jetzt beobachtete — 110 C. Ein dünner Strahl flüssiger Kohlensaüre in ein Behältniß gelassen, welches von einer Kältemischung umgeben ist, verwandelt sich durch seine eigene Verdunstung theilweise in einen festen schneeähnlichen Körper.

β) **Kondensation der Dämpfe.** Die Dämpfe können zwar ebenso wie alle Luftarten durch vermehrten Druck zusammen gepreßt werden und dehnen sich bei vermindertem wieder aus, wobei sie dem mariotteschen Gesetze unterworfen sind. Sollen sie aber ihren Aggregatszustand behalten, so kann ihre Dichtigkeit durch Verminderung der Temperatur oder Vergrößerung des Druckes oder durch beides zugleich nicht bis über eine gewisse Gränze hinaus gesteigert werden. (Die Dichtigkeit des Wasserdampfes ist von der der atmosphärischen Luft bei gleicher Wärme und gleichem Drucke nahe $\frac{5}{8}$.) Geschieht dieses dennoch, so werden sie ganz oder theilweise entweder in tropfbare Flüssigkeit oder in einen festen Körper verwandelt, d. h. **kondensirt** (destilliren, sublimiren: Alkohol, Wasser; Kampfer, Arsenik).

Bringt man in das eine Ende a einer beiderseits nach abwärts gebogenen Glasröhre etwas Cyanquecksilber, erwärmt es so lange, bis das sich entwickelnde Cyangas alle Luft durch eine an dem anderen Ende c noch vorhandene Öffnung entfernt hat und schmilzt dann bei c zu; so werden die aufs Neue in a entwickelten Dämpfe unter ihrem eigenen Drucke und dem Einflusse einer Kältemischung bei c sich zu einer tropfbaren Flüssigkeit verdichten. Durch Anwendung von Kompressionspumpen und Kaltmischungen sind bereits fast alle Luftarten (Chlor, Ammoniak, Salzsaüre, Kohlensaüre, schweflige Saüre, salpetrige Saüre) nicht blos tropfbar flüssig, sondern sogar fest gemacht worden. Die feste Kohlensaüre von schneeähnlichem Ansehen ist dabei so äußerst flüchtig, daß ihre Dämpfe bei 0° schon eine Spannkraft von 36 (38) Atmosphären, bei 30° aber eine von 73 Atmosph. besitzen; bei — 87° wird sie fest oder schmilzt; merkwürdiger Weise aber siedet sie schon bei — 85°.

Der **Destilationsprozeß** dient dazu, um aus einem Gemenge flüchtiger und nicht flüchtiger Substanzen jene von diesen zu trennen. Die Dämpfe des flüchtigen Bestandtheiles werden durch einen Kühlapparat zersetzt. Verdunstung im luftverdünnten Raume, wie z. B. bei der Fabrikation des Runkel-

rübenzuckers, wobei aber keine Ersparniß an Heizmateriale erzielt wird, weil zu einer bestimmten Dampfmenge auch ein bestimmtes Wärmequantum erforderlich ist. — Konzentration durch wiederholtes Destiliren.

Da die Dämpfe gebundene Wärme enthalten, so muß diese bei der Kondensation jener frei werden und diejenigen Körper erwärmen, an denen sich die Dämpfe kondensiren.

Werden daher Dämpfe von der Temperatur des kochenden Wassers oder einer höheren in kalte Flüssigkeiten geleitet, die sich selbst in hölzernen Gefäßen befinden können, so dienen sie dieselben zu erwärmen und Gegenstände darin zu kochen. — Wird 1 Pfd. Wasser von 100° in Dampf verwandelt und dieser durch ein Schlangenrohr geleitet, welches sich in 10 Pfd. Wasser von 0° befindet, so wird letzteres dadurch auf 54° erwärmt, also 1 Pfd. Wasser von 0° auf 540°. Daher ist die in den Dämpfen vorhandene freie und gebundene Wärme sehr bedeutend, nämlich $100° + 540° = 640°$. In Dampf von 60° würden $60 + 540 = 600°$ sein. — Die Summe der freien und gebundenen Wärme, welche Dünste überhaupt enthalten, ist eine konstante Größe. — Da nun 1 Pfd. Wasserdampf von 100° C. in Wasser von 100° an die Umgebung 540° Wärme abgiebt, so muß eine bestimmte Dampfmenge von 100° C. eine 5,4 mal größere Wassermenge von 0° auf 100°, d. h. zum Sieden zu bringen im Stande sein.

Leitet man die Dämpfe durch Röhren in Gemächer, so werden diese erwärmt, wobei das sich bildende Wasser entweder in den Dampfkessel zurück oder ins Freie geführt wird. Dampfheizung.

Da 1 Pfd. Wasserdampf von 100° C. 1 Pfd. Wasser von 0° auf 540° erwärmt und die Wärmekapazität der Luft 0,2669 von der des Wassers ist, so würde er 1 Pfd. Luft von $0° = 13,6$ Kubikfuß Luft auf $\frac{540}{0,2669} = 2023°$ erhitzen und daraus ergiebt sich, daß man zur Erwärmung von R Kubikfuß um n Grade eines Wärmequantums $q = \frac{R\,n}{13,6 \,.\, 2023}$ bedarf.

Benutzung des Dampfes in Dekartiranstalten, zum Brennen des Kaffees, zum Trocknen des Malzes, Schießpulvers, Tabacks und verschiedener Stoffe in Apotheken und Fabriken, auch in Essig- oder Salzsiedereien, Färbereien, Druckereien, Badeanstalten. — Heißwerden der Deckel auf Gefäßen mit kochenden Flüssigkeiten

c) Spannkraft der Dämpfe α) abhängig vom Drucke. Füllt man eine Barometerröhre (30″ lang) fast ganz mit völlig luftfreiem Quecksilber, gießt zuletzt ein wenig Äther auf, kehrt dann die Röhre mit zugehaltener Mündung in ein Quecksilbergefäß um (Fig. 69.) und öffnet dann, so wird ein Theil des empor gestiegenen Äthers sich sofort in Dämpfe verwandeln und das Quecksilber die Barometerhöhe nicht erreichen. Drückt man nun die Röhre tiefer in das Gefäß, so bildet sich etwas flüssiger Äther und es bleibt der vorige Quecksilberstand, ungeachtet der mit Ätherdämpfen gefüllte Raum sich verkleinert; also das Volumen des mit Ätherdampf erfüllten Raumes wird vermindert, ohne daß sich seine Elastizität vermehrt. Man kann auf diese Weise bewirken, daß die Ätherdämpfe verschwinden. Zieht man dann die Röhre wieder in die Höhe, so bilden sich aufs Neue Dämpfe und wenn die Röhre lang genug oder nicht viel Äther eingefüllt ist, so kann dadurch sämmtlicher Äther in Dampf verwandelt werden, ohne daß sich der Quecksilberstand ändert; zieht man aber die Röhre dann noch weiter aufwärts, so steigt auch die Quecksilbersaüle; es haben also dann die Dämpfe eine geringere Spannkraft. Das Volumen des Ätherdampfes wird jetzt vermehrt und dabei seine Elastizität vermindert. Wäre

Luft über dem Quecksilber, so würde beim Herabdrücken der Röhre ihr Raum zwar auch verkleinert, aber auch die Höhe der Quecksilbersäule, weil die Expansivkraft der Luft mit dem Drucke, welchem sie ausgesetzt ist, wächst. Dieses ist demnach beim Dampfe nicht der Fall, sondern es wird derselbe in demselben Verhältnisse kondensirt, in welchem sich der Druck auf ihn vermehrt oder sein Volumen sich vermindert.

In dem Angeführten liegt, daß Verminderung des Druckes, welchem Dämpfe ausgesetzt sind, ihre Entstehung befördert, ja überhaupt möglich macht. Es läßt sich leicht zeigen, daß die Dampfbildung aus einer Flüssigkeit durch Verminderung oder Vermehrung des auf die Flüssigkeit wirkenden Dampfdruckes selbst befördert oder gehindert werden kann.

Bringt man in einem mit einer Röhre versehenen Glaskolben (Fig. 243.) etwas Wasser zum Kochen, verschließt dann, wenn alle Luft durch die Dämpfe heraus getrieben worden, die Röhre durch einen Pfropfen und kehrt dann den vom Feuer entfernten Kolben um, so hört das Kochen bald auf, weil die Dämpfe auf den Wasserspiegel drücken; es beginnt aber sofort mit großer Heftigkeit, wenn man durch Begießen mit kaltem Wasser die Dämpfe in der Kugel kondensirt. Diese Erscheinung läßt sich wiederholen. Daraus folgt: daß der die Dampfentwickelung beim Kochen verhindernde oder verzögernde Druck durch die Dämpfe der Flüssigkeit selbst ausgeübt werden kann.

Geschieht das Kochen demnach in einem gut verschlossenen Metallgefäße (Papinscher Topf mit Sicherheitsventil), so werden die sich über der Flüssigkeit ansammelnden Dämpfe es verhindern, daß das Wasser u. dergl. bei einer so niedrigen Temperatur koche, wie in einem offenen Gefäße. Knochen lassen sich zu einem Brei zerkochen.

β) Spannkraft der Dämpfe, abhängig von ihrer Temperatur. Auf dem Wasserspiegel eines offenen Gefäßes lastet der einfache Druck der Atmosphäre; soll also das Wasser kochen oder sollen Dämpfe daraus emporsteigen, so müssen dieselben den Druck der Atmosphäre überwinden. Hat das Wasser noch nicht die Temperatur des Siedepunktes erreicht, so müssen die sich bildenden Dämpfe durch den größeren Luftdruck sofort kondensirt werden. Diese Betrachtung läßt sich leicht bestätigen und dabei zeigen, daß die Luft zur Dampfbildung nicht nur nicht nothwendig, sondern sogar hinderlich ist.

Stellt man den Torizellischen Versuch an und läßt mittelst einer gekrümmten Pipette einen Tropfen völlig luftfreien Wassers in den luftleeren Raum über das Quecksilber steigen, so verwandelt sich dasselbe bald und um so eher in Dämpfe, je wärmer der Apparat ist, und das Quecksilber fällt unter den Barometerstand, indem es in der Röhre durch die Expansivkraft der Dämpfe abwärts gedrückt wird. Läßt man allmählig noch Wasser nach, so erreicht man für eine bestimmte Temperatur eine Gränze, bei welcher sich das Wasser nicht mehr in Dämpfe verwandelt und auch das Quecksilber nicht weiter fällt: der leere Raum ist dann für die vorhandene Temperatur mit Dämpfen gesättigt. Wird nun aber der Apparat allmählig bis zum Siedepunkte des Wassers erwärmt, so findet man, daß das Quecksilber völlig herabgedrückt worden ist, daß also die Expansivkraft der abgesperrten Dämpfe von der Tem-

peratur des kochenden Wassers genau gleich ist dem gerade statt findenden Luftdrucke.

Die Expansivkraft der Wasserdämpfe zwischen 0° und 100° läßt sich leicht messen, wenn man auf den kürzeren in eine enge Öffnung ausgezogenen und etwas weiteren Schenkel eines vollständigen Barometers destilirtes Wasser bringt, durch Kochen desselben die Luft über ihm beseitigt und dann die kleine Öffnung zuschmilzt. Beim Erkalten der Wasserdämpfe sinkt das Quecksilber im längeren Schenkel und sein Stand über dem im kürzeren giebt den Grad der Expansivkraft für die verschiedenen Temperaturen der Dämpfe an. Die Temperaturen bestimmt man dadurch, daß man den kurzen Schenkel in Wasser von konstanter Temperatur hält. Auf diese Weise hat man gefunden, daß die Dichtigkeit der gesättigten Dämpfe aus allen Flüssigkeiten mit der Temperatur wächst und ist diese hinlänglich gesteigert, so ist der Raum, in welchem die Flüssigkeit vollständig verdampft, kaum größer, als der, welchem sie vorher einnahm.

Die Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten haben bei derselben Temperatur eine verschiedene Expansivkraft. Die Spannkraft des gesättigten Ätherdampfes beträgt 146‴ bei einer Temperatur von 12° R. = 15° C.

Der Dampf kann sich aus einer Flüssigkeit nur dann entwickeln, wenn er durch seine Temperatur eine größere Expansivkraft erlangt hat, als der auf der Flüssigkeit lastende Druck beträgt.

Daher kommt es, daß das Wasser auf hohen Bergen bei einer niedrigeren Temperatur kocht, als in der Tiefe: im Hospiz auf dem St. Bernhard in 7700′ absoluter Höhe schon bei 92° C.; auf dem Mont Blanc bei 16″ Barometerstand schon bei 68° R. = 85° C.; in Quito bei 72° R. — Thermometer, welche 0,01° angeben, als Mittel zum Höhenmessen. — Lauwarmes Wasser siedet unter dem Rezipienten der Luftpumpe im luftverdünnten Raume. Der Pulshammer. — Große Siedehitze in Papinschen Töpfen. — Salzlösungen haben zwar einen höheren Siedepunkt, als reines Wasser, die daraus entwickelten reinen Dämpfe aber stets dieselbe Temperatur (der Salzgehalt läßt sich daher aus der Temperatur des Siedepunktes bestimmen). Eine Mischung aus Alkohol und Wasser hat ihren Siedepunkt zwischen denen beider Körper; der Siedepunkt wird bei Verflüchtigung des einen Bestandtheiles aber veränderlich. Das sogenannte Wasserbad, Ölbad u. dergl. wird für manche Körper zur Hervorbringung einer beständigen Temperatur benutzt. — Schwefeläther siedet unter dem Drucke einer Atmosphäre bei 38°, Alkohol bei 80°, Terpentinöl bei 157°, Schwefelsäure bei 310°, Leinöl bei 316°, Quecksilber bei 320°. Jeder bestimmte Körper hat bei einem bestimmten Luft- oder Dampfdrucke auch einen bestimmten Siedepunkt.

Mechanisch aufgelöste Körper verändern den Siedepunkt einer Flüssigkeit nicht, nur beschleunigen können sie ihn, wie z. B. hinein geworfene Metallstücke.

Metallene Gefäße, Vergrößerung der Oberfläche der Flüssigkeit, welche der Wirkung des Feuers unmittelbar ausgesetzt ist, so wie Verminderung der Dicke der Gefäßwände führen das Kochen auch schneller herbei. — Wasser kommt mit roth glühendem Metall in Berührung nicht zum Kochen, es rundet sich ab (Leidenfrostscher Tropfen) und kommt in drehende Bewegung; hört aber das Metallgefäß auf zu glühen, so beginnt das Kochen mit der größten Heftigkeit. — Explosionen beim Nachgießen von Wasser in Dampfkessel, welche wegen Wassermangel theilweise glühten. — Bei der Rothglühhitze der Decke des Dampfkessels entweicht der Dampf durch kleine in ihn gemachte Öffnungen nicht.

Da der freie Luftdruck an einem bestimmten Punkte der Erdoberfläche sehr veränderlich und von ihm die Dampfentwickelung beim Kochen abhängig ist,

so muß auch der Siedepunkt einer bestimmten Flüssigkeit sich ändern. Sollen daher Thermometer genau übereinstimmende Resultate geben, so müssen sie bei demselben Barometerstande angefertigt sein. Oder will man mit zwei unter verschiedenem Luftdrucke angefertigten Thermometern vergleichende Beobachtungen anstellen, so müssen die Barometerstände, bei welchen sie angefertigt sind, angegeben sein und berücksichtigt werden; denn bei einem hohen Barometerstande liegt der Kochpunkt höher, als bei einem niedrigeren. Dies ist auch beim Höhenmessen mit dem Thermometer zu beachten.

Wenn man die Dämpfe auf das Quecksilber des kürzeren abgesperrten Schenkels entweder einer langen oben offenen oder einer kürzeren, aber abgesperrte Luft enthaltenden Barometerröhre (Dampfbarometer, Manometer) einwirken läßt, so läßt sich dadurch beweisen

1) daß Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten bei der Temperatur ihres Kochpunktes dieselbe Expansivkraft besitzen, wenn der Luftdruck derselbe ist und

2) daß die Erhöhung der Temperatur der Dämpfe über den Siedepunkt hinaus ihre Expansivkraft vermehrt.

Auf diese Weise ist gefunden worden, daß Wasserdämpfe bei einer Temperatur von 100° C. eine Spannkraft von 1 Atmosphäre,
bei 121,4° " " " 2 Atmosphären,
" 145,4° " " " 4 "
" 172,1° " " " 8 "
" 203,6° " " " 16 " besitzen.

Je tiefer die Temperatur des Siedepunktes einer Flüssigkeit liegt, desto mehr wird sie in einem bestimmten Raume von bestimmter Temperatur verdampfen und desto dichter und elastischer sind die Dämpfe.

Nicht unwichtig ist endlich die Frage nach dem Grade der Spannkraft der Dämpfe in einem ungleich erwärmten Raume. — Da Vergrößerung der Wärme die Expansivkraft der Dämpfe vermehrt, so muß in einem solchen Raume eine Dampfströmung von den wärmeren nach den kälteren Stellen und eine theilweise Kondensation an den letzteren eintreten, so daß die Spannung des Dampfes in dem ganzen ihm zugänglichen Raume stets die Spannung des Dampfes an der kältesten Stelle sein muß.

Dies läßt sich leicht bestätigen. Bringt man Äther in zwei Glaskolben a und c, welche durch die Röhre n verbunden sind (Fig. 244.) und geht aus dem einen Kolben c noch ein längeres Rohr r abwärts, so werden beim Kochen die Ätherdämpfe bald alle Luft aus den Kolben und den luftdicht eingepaßten Röhren n und r durch die offene Mündung o der letzteren getrieben haben. Unterbricht man dann das Kochen und bringt zugleich die Mündung o unter Quecksilber, so steigt dieses, während der Apparat sich bis zur Temperatur der umgebenden Luft abkühlt zu einer gewissen Höhe; kühlt man nun aber den einen Glaskolben a durch kälteres Wasser noch mehr ab, so steigt es sofort zu einer eben so bedeutenden Höhe, als wenn man statt dessen c oder a und c zugleich abgekühlt hätte. — Ist der eine Kolben mit Wasser gefüllt und der Apparat auf dieselbe Weise luftleer gemacht, so kann man auch durch ihn die Spannkraft der Wasserdämpfe selbst für 0° und für Temperaturen von 0° abwärts untersuchen, wenn man nur den anderen Kolben oder auch nur die Röhre r in schmelzendes Eis oder in Kältemischungen taucht.

d) Benutzung der Expansivkraft der Dämpfe. Die wichtigste Anwendung der Dämpfe besteht in der Benutzung ihrer Expansivkraft zur Bewegung eines Stempels oder Kolbens in einem Zylinder, den man Stiefel nennt. Durch verschiedene Maschinen, Dampfma-

schinen, wird diese Bewegung zu den mannigfaltigsten Zwecken verwendet, z. B. um Wasser aus der Tiefe eines Bergwerkes zu schaffen, um Springbrunnen hervorzubringen, Räder an Wagen, Schiffen und Mühlen zu treiben, zu Spinn- und Webemaschinen.

Um Grubenwasser fortzuschaffen, bediente man sich früher einer sehr einfachen Vorrichtung, deren Prinzip auf folgendem Versuche beruht. Luftdicht durch den Hals eines Gefäßes a (Fig. 245.), welches zum Theil mit Wasser gefüllt ist, gehe eine oben gekrümmte Röhre r bis an den Boden; von dem Halse aus eine zweite sogleich nach unten gekrümmte n. Verschließt man von r die obere Mündung c und bringt das Wasser in a zum Kochen, so wird die Luft in a und n durch die Mündung e entfernt. Taucht man dann e in Wasser, so steigt es bei der Verdichtung der Dämpfe in n aufwärts nach a. Ist a fast gefüllt, so verschließt man e, öffnet c, bringt das Wasser in a zum Kochen und die entwickelten Dämpfe treiben es durch r aufwärts zu der Ausflußöffnung c. Dieser Vorgang läßt sich wiederholen. — Wie lang darf n nur sein?

Die Bewegung eines Kolbens läßt sich auch leicht bewirken. Ist in einem oben offenen Zylinder (Fig. 246.), woran sich unten eine Kugel a mit etwas Wasser befindet, ein sich zwar gut anschließender, aber leicht beweglicher Kolben befindlich, so wird dieser beim Kochen des Wassers durch die Dämpfe empor getrieben. Sowie er das Ende des Zylinders erreicht hat, verdichtet man durch Aufgießen kalten Wassers die Dämpfe, und der Druck der atmosphärischen Luft treibt den Kolben abwärts. Nun lassen sich dieselben Bewegungen durch dieselben Mittel wiederholen.

Die Bewegung abwärts würde aber weit besser vor sich gehen, wenn man auch abwechselnd über den Kolben Dämpfe leitete und dieselben immer auf der anderen Seite des Kolbens verdichtete. Die Kolbenstange k müßte sich dann luftdicht mittelst einer Stopfbüchse durch den abgesperrten Zylinder bewegen. Dieser Zweck ließe sich durch eine Vorrichtung folgender Art erreichen. In dem Stiefel mn (Fig. 247.) ist an der Stange s ein Kolben luftdicht beweglich; sowohl an der Decke, als auch am Boden befinden sich zwei Röhren mit Hähnen (a, b, α, β), aus einem Dampfkessel werden die Dämpfe durch ein Rohr r nach dem Behälter dd geleitet, welcher durch a und b mit dem Stiefel in Verbindung steht; die Röhren α und β stehen aber mit einem Behälter c, worin sich kaltes Wasser befindet (Kondensator), in Verbindung. Sind a und α geöffnet, und zugleich b und β geschlossen, so geht der Kolben abwärts; sind aber b und β geöffnet und jene geschlossen, so geht er aufwärts. Das Öffnen und Schließen muß in dem Augenblicke geschehen, wenn der Kolben an die Gränzen des Stiefels gelangt ist.

Derselbe Zweck kann auch durch eine einfachere Vorrichtung erreicht werden (Fig. 248.). In dem durch r gespeisten Dampfbehälter dd befindet sich ein sogenanntes Schieberventil mit zwei Schiebern s, s; in dem Stiefel ist an dem Boden und an der Decke nur je eine Röhre a und b, welche durch die auf- und abwärts gehende Bewegung der Schieber abwechselnd die eine mit dem Dampfbehälter, die andere mit dem Kondensator c, der von dem inneren Raume des Schieberventils ausgeht, in Verbindung gebracht werden. In Fig. 1. geht der Dampf aus d durch

a über den Kolben nach n und treibt diesen abwärts, während der Dampf aus m durch b nach c entweicht; in Fig. 2. wird der Kolben aufwärts getrieben, weil der Dampf durch b nach m geht und n mit dem Kondensator durch a in Verbindung steht. Die Stangen des Schieberventils und des Kolbens gehen gleichzeitig auf- und abwärts, die Röhren a und b werden gleichzeitig beim Herabgehen an der oberen Kante, beim Heraufgehen an der unteren geöffnet; es müssen also die oberen Kanten der Schieber genau dieselbe Entfernung von einander haben, wie die Röhren, und ebenso muß es bei den unteren sein.

Die gradlinige Bewegung wird in eine drehende umgewandelt, wenn die Kolbenstange sich an dem einen Ende eines zweiarmigen Hebels (Balancier) befindet und an dem anderen eine Triebstange ist, welche eine Kurbel in Bewegung setzt, deren Axe zugleich die eines Rades mit viel Masse an der Peripherie ist (Schwungrad). Die Länge des Kurbelarmes muß gleich der halben Hubhöhe des Kolbens sein. An dem Balancier befinden sich noch die Gestänge des Ventils und der Kandensatorpumpe (Luftpumpe), welche dazu dient, das durch die Dämpfe nach und nach erwärmte und gebildete Wasser zur Speisung des Kessels zurück zu schaffen und durch kaltes zu ersetzen. Das Schwungrad hat die Bestimmung, die Geschwindigkeit des Kolbens, welche in der Mitte des Zylinders am größten sein würde, möglichst gleichmäßig zu machen und der Maschine trotz der Reibungswiderstände einen möglichst gleichförmigen Gang zu verschaffen; sein Beharrungsvermögen führt auch das Kurbelgestänge über die Gränzen der Bewegung fort, d. h. auf den Rückweg. Durch die Axe des Schwungrades wird noch ein Regulator getrieben, welcher die Zuströmung des Dampfes durch ein Klappen- oder Schieberventil so regulirt, daß auch ungeachtet größerer Veränderung des zu überwindenden Widerstandes der Gang der Maschine gleichmäßig bleibt.

Träte der Dampf aus dem Raume, nach welchem sich der Kolben bewegt, nicht in einen Kondensator, sondern in die freie Luft, so würde, wenn auch auf der anderen Seite Dampf mit einer Spannung von 1 Atmosphäre einströmte, noch keine Kolbenbewegung entstehen; erst bei einer Spannkraft von 2 Atmosphären würde der Kolben den Druck einer Atmosphäre erleiden, weil die Hälfte der Dampfkraft zur Überwindung des Luftwiderstandes verloren geht; bei einer Spannkraft von 3, 4, 5 Atmosphären ginge dadurch $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ der Dampfkraft verloren, also ein um so geringerer Theil der Kraft, je größer diese selbst ist. Weil bei diesen Maschinen der Dampf zur Erreichung eines gewissen Erfolges eine große Spannkraft haben muß, so heißen sie Hochdruckmaschinen. Hat aber der Dampf eine nur geringe Spannkraft, so ist der Kondensator unentbehrlich: Niedrigdruckmaschinen; dabei geht durch die Bewegung der Kondensatorpumpe noch ein Theil der Kraft verloren und es wird bei einer gewissen Spannkraft der Dämpfe der Fall eintreten, daß der Vortheil der Dampfkondensation durch den Nachtheil der Kondensatorpumpe völlig aufgehoben wird; also bei einer gewissen niedrigeren Spannkraft der Dämpfe der Kondensator sogar nachtheilig wirkt.

Da Dämpfe von der Spannkraft einer Atmosphäre auf eine Fläche von z. B. 5 Quadratfuß denselben Gesammtdruck ausüben, als Dämpfe mit einer Spannkraft von 5 Atmosphären auf eine Fläche von 1 Quadratfuß, so gewähren Hochdruckmaschinen den Vortheil, daß sie weniger Raum einnehmen. Man erreicht ferner bei den Hochdruckmaschinen noch einen Vortheil dadurch, daß man die Dämpfe aus dem Dampfkessel nicht unmittelbar in den Kasten mit dem Vertheilungsschieber eintreten läßt, um sie von da aus ohne weitere

Vermehrung ihrer Spannkraft abwechselnd in die beiden Raüme des Stiefels zu leiten, sondern daß man sie vorher in einen Behälter führt, in welchem sie dadurch verdichtet werden, daß sie während der abwechselnden Bewegung des Kolbens stets einige Zeit abgesperrt sind, indem ihnen durch einen Schieber (Expansivschieber) der Zutritt schon dann abgeschnitten wird, wenn der Kolben vom Ende des Stiefels noch eine gewisse Entfernung hat. Hätte der Kolben auf diese Weise $\frac{1}{3}$ seines Weges durch Dämpfe mit einer Spannkraft von 6 Atmosphären zurückgelegt und hörte dann die weitere Zuströmung der Dämpfe auf, so würde er nach Zurücklegung des übrigen Theiles des Weges Dämpfe hinter sich haben, die einen Druck von 2 Atmosphären ausüben und der Erfolg müßte derselbe sein, als wenn Dämpfe von 2 Atmosphärendruck fortwährend eingeströmt wären. Der mechanische Erfolg ist nun schon bei $\frac{1}{3}$ Hubhöhe und 6 Atmosphärendruck derselbe, als erst bei der ganzen Hubhöhe und 2 Atmosphärendruck; also ist der im ersten Falle durch die Bewegung des Kolbens in den letzten $\frac{2}{3}$ seines Weges erlangte Erfolg als Gewinn anzusehen.

Bei der Berechnung der Kraft einer Maschine legt man die Erfahrung zum Grunde, daß ein Pferd bei andauernder gleichmäßiger Arbeit in jeder Sekunde 500 ℔. 1 Fuß hoch zu heben im Stande ist. Da nun ein Kubikfuß Wasser 1696 Kubikfuß Dampf von 100 C mit der Spannkraft einer Atmosphäre giebt, so würde solcher Dampf auf einen Kolben von 1 Quadratfuß Fläche einen Druck von $\frac{7}{3} . 13{,}598 . 66$ ℔. = 2094 ℔. ausüben ($\frac{7}{3}$' Barometerstand, 13,598 d. spez. Gew. d. Quecksilbers, 66 ℔. wiegt ein Kubikfuß Wasser). — Wäre die Hubhöhe 10 Fuß, so würden zu einer einmaligen Bewegung des Kolbens, wenn man von allen Widerständen absieht und ihn mit 2094 ℔. belastet annimmt, 10 Kubikfuß Dampf gehören und der Zylinder würde mit jenem Dampfe können 169,6 mal gefüllt werden. 10 Kubikfuß Dampf heben also 2094 ℔. auf 10 Fuß oder 20940 ℔. auf 1 Fuß; und jene 1696 Kubikfuß Dampf würden 169,6 . 20940 ℔. = 3451424 ℔. auf 1 Fuß heben und dazu $\frac{3451424}{500}$ Sekunden = 6903 Sekunden = $1\frac{1}{12}$ Stunden gebrauchen, wenn ein Pferd zur Hebung von 500 ℔. eine Sekunde nöthig hätte. Wofern also 1 Kubikfuß Wasser im Kessel in $1\frac{1}{12}$ Stunden verdampfte, so würde die Maschine eine Pferdekraft besitzen.

Aus der Wassermenge, welche in Dampfgestalt von der Maschine in gewisser Zeit verbraucht wird, hängt ihre Kraft ab und wird darnach berechnet, wobei man aber auf die verschiedenen Widerstände fast die Hälfte in Abzug zu bringen hat. Letzteres laßt sich daraus entnehmen, daß die Maschine fast durchgehends sich selbst bedient: sie pumpt sich das Wasser für den Kessel, den Kondensator, dirigirt den Einspritzhahn, pumpt Wasser und Luft aus dem Kondensator, bewegt die Dampfzuleitungs- und Expansivschieber, handhabt den Regulator, ja manche Maschinen legen sogar den Brennstoff sich selbst zu und reguliren den Luftzug. — Da die Menge des Dampfes zu der Menge des dazu erforderlichen Brennmaterials unter übrigens gleichen Umständen in gradem Verhältnisse steht, so läßt sich auch aus dem Verbrauche des letzteren auf die Kraft der Maschine schließen. Zu 1, 2, 10, 20, 100, 200 Pferdekräften werden nach der Ordnung stündlich 20, 31, 100, 166, 550, 1100 ℔. gute Steinkohlen gebraucht.

Die Expansivkraft der Dämpfe ist bei manchen natürlichen Springbrunnen wirksam, wie in Island beim Strock und Geyser (100 bis 200 Fuß hoch, 20 bis 50 Fuß dick), beim Sprudel zu Karlsbad in Böhmen.

e) Mischung der Dämpfe mit Gasen.

α) Spannkraft des Gemenges. Es ist noch zu untersuchen, welches die Erscheinungen sind, wenn Dämpfe mit Gasen in Verbindung

vorkommen sowohl in abgesperrten Raümen als auch in der freien Atmosphäre.

Wenn tropfbare Flüssigkeiten, welche keine chemische Verwandtschaft zu einander besitzen, in dasselbe Gefäß gethan werden, so lagern sie sich nach ihrem spezifischen Gewichte ab; bringt man aber Gase, welche sich nicht chemisch mit einander verbinden, z. B. kohlensaures und Wasserstoffgas in dasselbe Gefäß, so verbreitet sich in kurzer Zeit jedes gleichförmig durch den ganzen Raum, gleich als ob das andere gar nicht vorhanden wäre; aber die Spannkraft des Gemenges ist die Summe der Spannkräfte, welche jedes einzeln haben würde, wenn es allein den ganzen Raum ausfüllte. (Vergl. S. 83.) Es entsteht nun die Frage, ob sich eine Verbindung von Gasen und Dämpfen ebenso verhält.

Wenn man in der torizellischen Röhre etwa 2 Zoll atmosphärische Luft bei dem Barometerstande von 336''' läßt und dieselbe nach dem Umkehren und Eintauchen der Röhre in das Quecksilbergefäß einen Raum von 8 Zoll einnimmt, so ist ihre neue Spannkraft nur $\frac{1}{4}$ der vorigen, also $\frac{1}{4} . 336''' = 84'''$ und die Höhe der durch die aüßere atmosphärische Luft getragenen Quecksilbersaüle beträgt nur noch $336''' - 84''' = 252'''$. Läßt man nun bei einer Temperatur von 15^0 C $= 12^0$ R mittelst einer gekrümmten Pipette etwas Schwefeläther in den Raum über das Quecksilber, so sinkt dasselbe wegen der Ätherdämpfe noch tiefer. Durch Niederdrücken der Röhre kann man die Luft mit den Ätherdämpfen wieder auf den Raum von 8'' beschränken und findet dann, daß die Mischung von Luft und Ätherdampf eine Spannkraft von $84''' + 146''' = 230'''$ besitzt, also die Länge der Quecksilbersaüle nur $336''' - 230''' = 106'''$ beträgt; 146''' aber ist wirklich die Spannkraft des gesättigten Ätherdampfes bei 12^0 R. Durch weiteres Niederdrücken der Röhre wird die Spannkraft der eingeschlossenen Luft größer und kann über die der aüßeren gesteigert werden; stets aber findet sich, daß die Menge und Spannkraft der in einem lufterfüllten Raume für eine bestimmte Temperatur im Sättigungsgrade vorhandenen Dämpfe eben so groß ist, als wenn dieser Raum luftleer wäre.

Im luftleeren Raume geschieht die Dampfbildung plötzlich; ist in dem Raume aber schon ein Gas vorhanden, so hat das neu hinzutretende den mechanischen Widerstand des ersten zu überwinden und die Verbreitung geschieht allmählig.

Die Menge der Dünste, welche im Freien eine bestimmte Wassermasse in bestimmter Zeit liefert, wächst mit der Vergrößerung ihrer Oberfläche, mit zunehmender Temperatur, sowohl des Wassers, als der Luft, mit abnehmender Dichtigkeit und zunehmender Trockenheit der letzteren. Wenn man die Luft, welche bereits Dünste aufgenommen hat, durch trockenere ersetzt (Luftzug, Wind, Blasen beim Genusse heißer Speisen), so wird die Verdunstung beschleunigt.

Es ist nicht möglich, daß sich alle Gewässer der Erde in Dunstgestalt in die Atmosphäre und den Weltraum zerstreuen, weil sie den Gesetzen der Schwere unterworfen sind und so auch ohne Luft eine Dunsthülle um die Erde bilden müßten. Überhaupt aber muß es für jeden Körper eine gewisse Temperatur geben, unterhalb welcher seine Verdunstung aufhört, wo nämlich die an seiner Oberfläche herrschende Molekularabstoßung durch das Gewicht der Molekel überwältigt wird.

β) Hygrometrie. Der Umstand, daß die Verdunstung um so schneller

geschieht, je weniger die Luft mit Dünsten gesättigt ist und daß bei vollkommener Sättigung gar keine Verdunstung stattfindet, diente zur Auffindung eines Mittels sowohl die Menge des bei jeder Temperatur in der Luft vorhandenen Dunstes, die Dunstspannung, als auch die relative Feuchtigkeit oder den Dunstsättigungsgrad (nach Prozenten der Dunstsättigung) anzugeben.

Ist von zwei genau mit einander übereinstimmenden Thermometern (Psychrometer von August) die Kugel des einen mit feinem Muselin umhüllt und dieser mit reinem Wasser angefeuchtet, so werden beide Thermometer nur dann gleiche Temperaturen angeben, wenn die Luft mit Dünsten gesättigt ist, weil dann keine Verdunstung, also auch keine Entziehung von Wärme aus dem Quecksilber des feuchten Thermometers eintritt. Je geringer aber die Dunstmenge in der Luft ist, desto tiefer sinkt das angefeuchtete Thermometer und bleibt endlich auf einem gewissen Punkte, der Verdunstungskälte, stehen, welche von der Temperatur und Dichte der Luft und der Spannkraft des in ihr bereits enthaltenen Dunstes abhängig ist. Aus der psychrometrischen Differenz läßt sich beurtheilen:

1) die Dunstspannung oder der Druck, welchen die bei der grade vorhandenen Lufttemperatur in der Luft befindlichen Dünste auf das Barometer ausüben, d. i. die absolute Feuchtigkeit;

2) das Verhältniß der wirklich vorhandenen Menge von Dünsten zu der bei der Dunstsättigung in ihr enthaltenen, d. i. die relative Feuchtigkeit der Luft, welche man in Prozenten der Dunstsättigung angiebt.

Bei derselben absoluten Feuchtigkeit kann die relative sehr verschieden sein. Den größten Werth erlangt die Feuchtigkeit theils durch anhaltende Verdunstung, theils durch Temperaturerniedrigung, theils durch Vermischung ungleich feuchter Luft von verschiedener Temperatur beim Wechsel des Windes. — Im Sommer ist die Luft relativ trockener, als im Winter, in jenem die Psychrometerdifferenz größer, als in diesem. Im April ist die Feuchtigkeit am kleinsten.

3) In einem mit Dampf gesättigten Raume wird ein Theil des Dampfes zu Wasser kondensirt, wenn die Temperatur niedriger wird; dieser Niederschlag von Dämpfen findet aber auch dann statt, wenn in einem mit Dünsten nicht gesättigten Raume die Temperatur an irgend einer Stelle unter diejenige, bei welcher die vorhandene Menge von Dünsten eine Dunstsättigung hervorbringen würde, herabgesetzt wird. Diese Temperatur, bei welcher soeben ein Niederschlag der Dünste erfolgt, heißt der Thaupunkt. Es muß demnach die absolute Spannkraft des grade vorhandenen Dunstes zugleich das Maximum seiner Spannkraft sein, welches zu der Bethauungstemperatur gehört. Letztere läßt sich auf folgende Weise bestimmen:

An einer auf einem Gestelle mit einem Thermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur horizontal angebrachten Glasröhre sind nach abwärts zwei Glaskugeln a und b (Fig. 249.) befindlich, die eine b an einer etwas längeren Röhre ist äußerlich mit einer vergoldeten Zone versehen und enthält ein kleines Thermometer, die andere ist mit Musselin umhüllt; das Ganze ist luftleer und nur in b befindet sich etwas Schwefeläther. Befeuchtet man a mit Äther, so werden durch seine Verdunstung die Ätherdämpfe im Innern kondensirt, es können sich also in b neue entwickeln; dabei wird Wärme absorbirt, was sich auch durch das Fallen des Ther-

mometers in b zeigt und die Temperatur wird bald unter die des Thaupunktes herab gesetzt. Hat sich nun demzufolge auf der goldenen Zone ein Niederschlag gebildet, so befeuchtet man a nicht mehr, sondern beobachtet die Temperatur des inneren Thermometers, bei welcher der Niederschlag sich bildet und die, bei welcher er wieder verschwindet; das Mittel aus ihnen wird als der wahre Thaupunkt angesehen.

Daniels Hygrometer; Ungenauigkeit der Resultate aus ihm.

Ist 20° R. warme Luft bei einem Barometerstande von 336‴ mit Dünsten gesättigt, so üben diese einen Druck von 10,40‴ aus. Wenn nun die Kugel bei 9,5° beschlug und bei 10,5° der Beschlag wieder verschwand, also das Mittel 10° ist und der Dunstdruck bei 10° im Sättigungszustande nur 4,75‴ beträgt, so ist dieser der $\frac{4,75}{336}$ste Theil von dem Luftdrucke oder er beträgt 1,41 Prozente; 10,40 sind vom Luftdrucke aber 3,10 Prozente, also enthält die Luft 1,69 Prozent weniger Dünste, als sie aufnehmen kann, ist also relativ trocken.

Es giebt viele Körper, welche die in der Luft enthaltenen Dünste um so mehr an sich ziehen, in je größeren Mengen sie vorhanden sind, ohne daß dieses grade in einem bestimmten Verhältnisse geschieht; sie sind weniger hygrometrische, als blos hygroskopische Körper.

Z. B. Löschpapier, Holz, von Fett befreite Haare, Darmsaiten, Fischbein, Knochen, Federkielen, trockene Pflanzen, die innere Haut des Schilfrohres, Zucker, Salze, Schwefelsaüre, Thonschiefer, vorzüglich Chlorkalzium, gepulverter Alabaster oder Gyps in gut getrocknetem Zustande; — ihr Gebrauch zu Hygrometern.

γ) Einfluß der Dünste auf den Barometerstand. Die in der atmosphärischen Luft stets enthaltenen Wasserdünste müssen auf den Barometerstand von Einfluß sein; derselbe wird nämlich um so größer sein, je mehr Dünste in der Luft enthalten sind. Will man also den Luftdruck allein erhalten, so muß man von dem beobachteten und auf eine Normaltemperatur (0°) der Luft zurück geführten Barometerstande die durch den Dunst bei jener Temperatur bewirkte Erhebung abziehen. — Wenn die in der Luft enthaltenen Dämpfe für eine bestimmte Temperatur das Maximum der Spannkraft besitzen, so ist für diese Temperatur die Luft mit Dünsten oder Dämpfen gesättigt, also nicht mehr im Stande noch andere aufzunehmen, oder es findet in ihr keine weitere Verdunstung statt. Da nun mit wachsender Temperatur die Menge der Dünste, welche ein bestimmter Raum zu seiner Sättigung bedarf, wächst, so wird der Dunstsättigungsgrad im Winter eher erreicht werden, als im Sommer; in der Nacht eher, als am Tage. — An Orten mit Seeklima hat die Spannkraft der Dünste täglich ein Maximum und ein Minimum, welche mit dem Maximum und Minimum der Temperatur zusammen fallen; für Orte mit kontinentalem Klima existiren zwei Maxima, 9 Uhr vormittags und 9 Uhr abends, und zwei Minima, um 4 Uhr nachmittags und gegen Sonnenaufgang. Im ersten Falle werden die Dünste mit der wärmer werdenden Luft zwar aufwärts geführt, aber durch andere vom Meere sofort ersetzt; in diesem Falle muß sich die Menge der Dünste mit zunehmender Wärme vermindern, weil seitwärts nicht so viele neue zugeführt werden, bis jene Ströme aufhören. Aber auch hier ist im Winter nur ein Maximum (2 Uhr nachmittags) und ein Minimum (bei Sonnenaufgang).

Daraus erklären sich die täglichen und jährlichen periodischen Schwan-

kungen des Barometerstandes, sowie die Maxima und Minima. Der bloße Luftdruck ist zur Zeit der kleinsten Tageswärme (Sonnenaufgang) am größten, bei der größten Tageswärme (gegen 2 Uhr mittags) am kleinsten, und ebenso giebt es auch nur ein jährliches Maximum und Minimum. In Betreff der Elastizität des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes tritt der umgekehrte Fall ein, so daß von der Hinzufügung seines Druckes das Gesammtresultat abhängt.

Nun ergiebt sich auch, weßhalb der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel, wenn wir auch von der sphäroidischen Gestalt der Erde absehen, nicht überall gleich ist: zwischen dem 30 und 40sten Grade ist er am größten, zwischen dem 60 und 70sten am kleinsten, indem hier der Wassergehalt der Luft kleiner geworden ist. Die durch die ungleiche Vertheilung zwischen Land und Wasser auf den beiden Halbkugeln bewirkte ungleiche Verdunstung ist wohl auch der Grund, daß in der nördlichen die Barometerschwankungen größer sind, als in der südlichen. Da bei heiterer und warmer Luft (in der also die Dünste recht durchsichtig sind) mehr Wasser in ihr als Dampf enthalten sein kann, als im umgekehrten Falle, so ist dort der Barometerstand in der Regel höher, als hier. Ebenso im Atlantischen Ozeane größer, als im stillen bei gleicher Breite. — Werden die in der atmosphärischen Luft enthaltenen Dünste irgendwo plötzlich kondensirt (wie bei Gewittern), so wird dadurch das Gemenge aus Luft und Wassergas leichter, es bildet sich überdies wegen der bei der Kondensation frei werdenden Wärme ein aufsteigender Luftstrom und die natürliche Folge ist ein bei fallendem Barometerstande hereinbrechender Sturm (wie es in der Region der Kalmen nachmittags täglich geschieht), welcher gleichsam durch Saugen eine rückwärts fortschreitende Bewegung besitzt, so daß z. B. ein Nordsturm in nördlicheren Gegenden später eintritt, als in südlicheren. Auf ein plötzliches Fallen des Barometers folgt stets Sturm.

f) Hygrometeor. Wenn die in der Luft schwebenden Dünste mit hinreichend kalten Körpern in Berührung kommen, so werden sie tropfbar oder fest.

Dünste in einer Stube kondensiren sich an den Fensterscheiben. (In welchem Falle findet der Beschlag auf der äußeren Fläche statt?) In eine Stube gebrachte kalte Gegenstände (Metall, Glas u. a., besonders gute Wärmeleiter) beschlagen; bei einem nach großer Kälte plötzlich eintretenden Thauwetter schwitzt oder bereift das Mauerwerk. — Die Glatteisbildung. Durch die bei größerer Winterkälte geöffnete Thüre eines dunstreichen Zimmers schlägt ein Nebel oder Schwaden.

1) Nebel. So wie die Dämpfe des kochenden Wassers über dem Gefäße deßhalb als Dunst sichtbar werden, weil sie in kältere Luft eintreten und ihre Kondensation beginnen, so ist es auch abends nach Sonnenuntergang über Gewässern, Moränen und feuchten Wiesen der Fall; es bildet sich über ihnen ein Nebel, wenn die kältere Luft vom höheren Ufer auf das erwärmte Wasser abfließt oder die aus dem warmen Wasser aufsteigenden Dünste in kühlere, schon gesättigte Luftschichten gelangen. Auch am Morgen lagert der Nebel noch über den Niederungen, wenn die Sonnenstrahlen bereits die höheren Luftschichten erwärmt haben. Der Nebel fällt, wenn der Erdboden und die angränzenden Luftschichten noch länger kalt sind, als die höheren und feuchten; er steigt (als Vorbote heiteren Wetters) und verschwindet, wenn ihn ein Luftstrom erhebt und die oberen Luftschichten relativ trockener sind.

Warum sind in England Nebel so häufig? Die Gewässer des warmen Golfstromes erzeugen in Neufoundland noch Nebel. Nebel nach Gewitterregen

über Flüssen, Seen auf Bergen. Sehr dichte Nebel in Polargegenden. Der Hauch in kalter Luft. — Der trockene Nebel: Heer-, Heide-, Höhenrauch.

2) Wolken. Besteigt man hohe Berge, so kommt man bisweilen in eine Nebelregion; ist man sie durchwandert, so sieht man eine Wolke unter sich, wie am Fuße des Berges über sich. Wolken sind also nur Nebel in höheren Schichten der Atmosphäre und entstehen auch durch Vermischung warmer feuchter, meist aufwärts steigender Luft mit kalter in höheren Schichten. Treffen horizontal bewegte Luftschichten an Bergzüge, so werden sie an ihnen aufwärts in höhere und kältere Schichten getrieben und deßhalb bilden sich an den Bergen so leicht Wolken, welche gleichsam an ihnen hängen bleiben und die Menge der jährlichen Niederschläge dort vergrößern. Trifft ein kalter Luftstrom auf warme mit Dünsten erfüllte Luft, so entstehen auch Wolken; trifft aber ein warmer trockener Luftstrom die kalte feuchte Luft, oder ziehen Wolken in wärmere oder trocknere Luft (nach O., nach S.), so vergehen sie; daher beim Umschlagen des Windes das oft plötzliche Entstehen und Vergehen von Wolken. Je wärmer und wasserreicher eine Gegend ist, desto eher ist die Bedingung zur Wolkenbildung vorhanden.

Die einzelne Wolke über einer kleinen isolirten Insel; die Wolken an Schnee- und Eisbergen; Große Menge von Quellen an Bergen. Der Himmel über großen Sandwüsten. — Wolkenformen sind: Federwolke, cirrus; Haufenwolke, cumulus; Schichtwolke, stratus; fedrige Haufenwolke oder Schäfchen, cirro-cumulus; fedrige Schichtwolke, cirro-stratus; streifige Haufenwolke, cumulo-stratus und die Regenwolke, nimbus. Ihre Farbe hängt von der Dichte und Gestalt, so wie von dem Stande der Sonne ab.

3) Regen. Wenn in einer Wolke die Dunstbläschen in großer Menge vorhanden, also einander sehr nahe sind, so ziehen sie einander an, bis sie kleine volle Wasserkügelchen bilden, welche von der Luft nicht mehr können getragen werden; sie fallen als Regentropfen herab und vergrößern sich auf ihrem Wege um so mehr, je länger dieser ist. Jedenfalls vermischen sich bei der Entstehung des Regens zwei Luftmengen von ungleicher Temperatur, die mit Dünsten fast gesättigt sind.

Im Sommer und in den Tropengegenden sind die Regentropfen und besonders in letzteren die Regenmenge groß, weil die absolute Feuchtigkeit der Luft wegen der höheren Temperatur für diese Fälle größer ist, als im Winter und in Polargegenden. Die Anzahl der Regentage wächst aber mit der Veränderlichkeit des Klimas, also mit der Entfernung vom Äquator. Die Regenmenge nimmt unter gleichen Breiten im Allgemeinen mit der Entfernung vom Meere ab, so daß weit von ihm entfernte Binnenländer an Regenmangel leiden. Zwischen den Wendekreisen bringt die Regelmäßigkeit der Passatwinde auf den Kontinenten ein mehre Monate am Tage anhaltendes Regenwetter hervor; die Sonne geht dabei heiter auf und unter. — An der steilen Westküste Malabar bringen die Südwestmoussons (während unseres Winters), an der Ostküste Koromandel die Nordostmoussons die Regenzeit hervor; die andere Küste hat in beiden Fällen die trockene Jahreszeit.

Die Regenmenge ist auf die einzelnen Monate und Jahreszeiten an verschiedenen Orten verschieden vertheilt. — Der Regen aus blauem Himmel ohne Veränderung der Windrichtung. — Wenn sich bei Niederschlägen die Differenzen der Bodenbeschaffenheit geltend machen, so nennt man dieses Wetterscheiden. Streif-, Land-, Platz-, Gewitterregen, Staubregen, Wolkenbrüche. Blut-, Schwefel-, Stein-, Getreideregen; schwarze Regen (in England, von Ruß und Steinkohle).

4) Schnee. Geschieht die Kondensation der Dünste in einer Luft-

schicht von hinreichend niedriger Temperatur, so krystallisiren sie nach dem hexagonalen Krystallsysteme in kleinen Krystallen, diese nehmen im Herabfallen andere auf und gelangen als Schneeflocken zur Erde, wenn auch hier die Temperatur niedrig genug ist; wenn aber nicht, so schneet es in höheren, regnet in niedrigeren Schichten der Atmosphäre.

An heiteren und kalten Wintertagen bilden sich durch Erniedrigung der Temperatur der ganzen über uns stehenden Luftsäule ohne Veränderung der Windrichtung Schneekrystalle dicht an der Erdoberfläche, welche sich durch kalte schwarze Schiefertafeln leicht auffangen und beobachten lassen. — Schneefälle am Rande eines Eisfeldes und der kälteren Küste entstehen durch das plötzliche Eindringen erwärmter Luft über den kalten Boden (deßhalb entstehen auch in Europa Niederschläge bei SW-Sturm, der rasch in höhere Breiten dringt).

5) Graupelregen. Wenn beim Ausgange des Winters (März, April) die atmosphärische Luft an der Erdoberfläche schon anfängt sich zu erwärmen oder im Herbste noch wärmer ist, als darüber, so schmelzen die fallenden Schneeflocken theilweise zusammen und bilden ziemlich lockere undurchsichtige Körnchen, den Graupelregen (Schlossen).

Graupelregen geht bisweilen in Schnee, bisweilen in Regen über, oder ist mit Regen vermischt.

6) Hagel. Nur im heißen Sommer und fast nur am Tage und nur bei einem meist bedeutenden Gewitterregen und nur auf kurze Zeit und meist in nicht sehr ausgebreiteten Strecken fallen gewöhnlich unter Sturm aus dichten, dunkelgrauen, etwas ins Röthliche gefärbten Wolken Eiskörner, deren Mitte bisweilen undurchsichtig ist und deren Durchmesser bis zu 4 Zoll beträgt, in so bedeutender Menge zur Erde, daß sie dieselbe manchmal mehre Zoll hoch bedecken; dies ist der Hagel. Die eigenthümlichen Bedingungen seiner Entstehung lassen auf die Art seiner Bildung wohl einen Schluß machen. Die Erscheinung setzt vorerst eine sehr große Menge von Dünsten und dann eine sehr plötzliche Abkühlung an einer nicht sehr ausgebreiteten Stelle der Atmosphäre voraus. Die erste Bedingung ist nur im Sommer und während eines sehr heißen Tages (nachmittags und gegen Abend) gegeben; die zweite ist schwieriger nachzuweisen. Ein plötzlich einbrechender kalter Luftstrom könnte nur von seitwärts oder von oben kommen. Jenes ist aus den Beobachtungen gar nicht nachgewiesen, da im Gegentheile die dem Hagelwetter vorhergehende Zeit windstill ist und der Sturm erst bei dem Hagelwetter entsteht und eine Folge der großen Abkühlung durch dasselbe ist und dieses ist höchst unwahrscheinlich, weil die Hagelwolken tief liegen und die Temperatur der darüber lagernden Schicht nicht so ungemein niedrig sein kann, um die großen Eiskörner, deren Temperatur bis — 4° beträgt, zu bilden und weil die untere Luft wegen ihrer hohen Temperatur eine hinreichende Expansivkraft besitzt, um der kälteren darüber befindlichen einige Zeit das Gleichgewicht zu halten. Die Hagelbildung ist demnach wohl nur die Folge derjenigen örtlichen urplötzlichen Abkühlung, welche bei dem im Gewitterschlage oder der Ausgleichung der elektrischen Gegensätze sich bildenden luftleeren oder äußerst luftverdünnten Raume entsteht.

Hagel bei Ausbrüchen von Vulkanen, z. B. in Island.

7) Wasserhosen. Diese sind wohl auch eine Folge der Ausgleichung der elektrischen Gegensätze zwischen einer über dem Meeresspiegel

schwebenden Wolke und diesem selbst; die Spitzen der beiden schraubenförmigen Wirbel von der Erde und von der Wolke aus sind dabei einander zugekehrt; Blitze durchzucken bisweilen die Saüle, welche bei ihrer fortschreitenden Bewegung oft große Verwüstungen anrichtet.

8) Gesammtniederschläge. Die Summe der jährlichen Niederschläge verschiedener Art ist nach den bisherigen Messungen so bedeutend, daß sie die Erde mit einer Wasserschicht von ungefähr 30 Zoll bedecken würden, wenn sie nicht theils in die Erde eindrängen, theils wieder verdunsteten, theils als fließende Gewässer den Meeren zugeführt würden; ihre Gesammtmasse würde etwa 200 Kubikmeilen betragen. Eben so groß ist natürlich auch die jährliche Ausdünstung auf der ganzen Erde, an welcher die verschiedenen Körper in verschiedenem Grade Theil nehmen.

Das mittelländische Meer liefert nach Halleys Berechnungen 52800 Millionen Tonnen; ein Baum von mittlerer Größe soll an einem warmen Sommertage gegen 30 Pfd. Wasser ausdünsten. — Die verschiedenartigen atmosphärischen Niederschläge sind die vorzüglichste Ursache für die Entstehung der Quellen; bei den durch sie entstandenen Quellen ist die Wassermenge veränderlich, die Temperatur aber um so weniger, je tiefer ihr Ursprung ist; bei vielen ist sie die mittlere des Ortes.

III. Verbreitung der Wärme.

Berühren einander zwei gleichartige oder ungleichartige Körper von verschiedener Temperatur, so gleichen sich ihre Temperaturen nach und nach aus, bis beide zunächst an der Berührungsstelle dieselbe Wärme besitzen. Auch wenn die Wärme verschiedener Theile desselben Körpers verschieden ist, findet eine solche Ausgleichung, eine Leitung der Wärme statt. Aber auch wenn ein Körper in einem luftleeren Raume sich befindet, verliert er seine Wärme; es muß also noch eine andere Verbreitungsweise geben Man beobachtet dieselbe z. B., wenn man einem stark geheizten Ofen gegenüber stehend vor das Gesicht einen Papierschirm hält, denn man empfindet eine plötzliche Wärmeabnahme; nimmt man aber den Schirm wieder fort, so ist es, als wenn die Wärme sofort wieder an das Gesicht schlüge. Schon daraus folgt, daß die Ofenwärme und Wärme überhaupt nicht blos durch Leitung (in derselben horizontalen Schicht mit gleicher Stärke überall hin) fortgeführt wird, sondern daß sie außerdem sich noch gradlinig nach allen Richtungen verbreitet, oder daß sie von dem warmen Körper aus in graden Strahlen wie vom Mittelpunkte einer Kugel nach allen Seiten hin sich fortpflanzt. Die sich in der Art verbreitende Wärme nennt man strahlende Wärme.

A. Verbreitung der Wärme durch Leitung.

Je schneller ein Körper die Wärme eines anderen bei der Berührung mit ihm aufnimmt oder verliert, desto besser leitet er dieselbe. Giebt man den zu untersuchenden Körpern dieselbe stabförmige Gestalt, bringt in gewissen gleichen Abständen Vertiefungen mit Quecksilber, worin sich kleine Thermometer befinden, an und setzt man dann das eine Ende einer konstanten Wärmequelle aus, so kann man die Leitungsfähigkeit beurtheilen.

Gute Leiter sind die Metalle (in der Ordnung: Gold, Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Zink, Zinn, Blei); schlechte z. B. Holz, Kohle, Asche, Stroh, Heu, Häckerling oder Häcksel, Spreu, Haare, Wolle, Baumwolle, Seide, Federn,

Schnee, Eis, Luft und überhaupt lockere viele Luft enthaltende Körper; dazwischen stehen: Steine, Glas, die Flüssigkeiten außer Quecksilber. Die Leitungsfähigkeit des Wassers z. B. ist 95 mal geringer, als die des Kupfers. Holz leitet besser nach der Länge, als nach der Quere der Fasern. Die Winterkälte dringt also in die Baüme weniger leicht ein, als die innere Erdwärme von unten aufwärts steigt.

Von zwei gleicher Wärme ausgesetzten ungleich gut leitenden Körpern scheint beim Anfühlen mit der kälteren Hand der bessere Leiter heißer zu sein; werden sie gleicher Kälte ausgesetzt, so scheint eben derselbe kälter zu sein, z. B. Quecksilber kälter als Wasser. Letzteres ist auch der Fall, wenn sie mit dem Beobachter längere Zeit an demselben Orte waren. Der nasse Finger friert in der Winterkälte an das berührte Metall, nicht aber an das berührte Holz. Metallene beim Feuer zu gebrauchende Geräthe werden mit hölzernen Handhaben versehen. Ein um einen Metallschlüssel gewundener Baumwollenfaden verbrennt nicht, wenn beide zugleich in eine Kerzenflamme gehalten werden. Davys Sicherheitslampe: eine Grubenlaterne aus feinem siebartig geflochtenen Metalldrahte. Es kocht leichter in Metall- als in irdenen Gefäßen (um das Kochen zu befördern wirft man Metallstücke in das Kochgeschirr); eiserne Öfen heizen schneller, als irdene, halten aber auch kürzere Zeit warm. Wird das eine Ende eines kurzen Metalldrahtes glühend gemacht, so kann das andere nicht in der Hand gehalten werden, während dies der Fall ist mit einem eben so kurzen, an dem einen Ende brennenden Holzstücke; gegen Kälte und Wärme schützt man sich durch schlechte Wärmeleiter (Pelze im Sommer), zarte Gewächse, Pumpenbrunnen u. a. umgiebt man im Winter mit Stroh; unter Strohdächern ist es im Sommer weniger warm, im Winter weniger kalt, als unter Ziegeldächern; hölzerne Haüser sind im Winter wärmer, als steinerne; tapezirte Zimmer wärmer, als untapezirte; hölzerne Fußböden erscheinen wärmer, als steinerne; metallene Steigbügel umhüllt man im Winter mit Stroh und Tuch. Schnee schützt die Saaten und die Nordländer vor dem Erfrieren. Gefrorne Früchte (Obst, Kartoffeln) wirft man in kaltes Wasser, um ihnen den Frost allmählig zu entziehen; erfrorne Menschen bedeckt man aus demselben Grunde mit Schnee. Eine abgesperrte und ruhige Luftschicht zwischen Doppelfenstern und Doppelthüren schützt gegen die von außen eindringende Kälte (Nutzen weiter Kleider, doppelter Hemden und Strümpfe). Behälter zum Aufbewahren von Eis für den Sommer umgiebt man mit Kaff und Stroh oder einer Kohlen- oder Aschenschicht und Holz; Kohlen glimmen unter Asche sehr lange; Raücherkerzchen brennen auf einer Metallplatte nicht ganz aus; Gläser schützt man vor dem Zerspringen auf einer heißen Platte durch Unterlegen von Papier. Sogenannte Feuermenschen bestreichen den Körper jedenfalls mit schlecht leitenden Mitteln (Zwiebelsaft; einer Mischung von $\frac{1}{2}$ Pfd. Alaun, 4 Loth Vitriolsaüre und 2 Pfd. Wasser); Aldinis Sicherheitspanzer, aus Metalldraht geflochten, über ein mit Salz getränktes Wollenkleid zu ziehen.

a) Leitung in festen Körpern. Wenn auch das eine Ende eines Stabes aus einem guten Leiter mit einer konstanten Wärmequelle beliebig lange in Berührung bleibt, so nimmt doch der ganze Stab nicht dieselbe Wärme an, sondern sie nimmt z. B. in Metallstäben, wenn die Entfernungen von der Wärmequelle in arithmetischer Progression wachsen, so ab, daß die Temperaturüberschüsse über die Temperatur der Umgebung eine geometrische Progression bilden. Für Metalldrähte von verschiedenen Metallen, welche man beim Versuche mit einer dünnen Wachsschicht überzieht und derselben Wärmequelle, z. B. heißem Öle aussetzt, gilt nämlich das Gesetz: die Leitungsfähigkeiten verhalten sich wie die Quadrate der Entfernungen von der Wärmequelle, in welchen man unter übrigens gleichen Umständen gleiche Temperaturüberschüsse beobachtet.

Das Thermophon. Merkwürdig ist eine Erscheinung, welche ein

gut leitendes Metall darbietet, wenn es bei größerer Erwärmung mit einem schlechter leitenden und kalten an einzelnen Stellen in Berührung kommt; der Widerstand, welchen die Wärme an dem schlechter leitenden Metalle findet, setzt jenes in so rasche Schwingungen (20 bis 800 in einer Sekunde), daß dadurch ein Ton erzeugt wird. Geht nämlich die Wärme aus einem erwärmten gut leitenden und leicht beweglich angebrachten Metalle in ein schlechter leitendes über, so wird in dem Augenblicke der Berührung beider dieselbe an dem kälteren und schlechteren Leiter verzögert und bewirkt durch die Reaktion die Schwingungen. So wie die Wärme die Moleküle desselben Körpers mit großer Kraft von einander entfernt, so muß dieses auch an der Berührungsstelle beider Körper der Fall sein.

Einen dazu geeigneten Apparat (Trevelyan-Instrument, Termophon) erhält man, wenn man auf einen Resonanzboden einen massiven unten ausgehöhlten und oben stark zugerundeten Bleikörper, etwa 4 Zoll lang, 2 bis 2,5 Zoll breit und hoch und darauf einen sogenannten Wackler von Kupfer oder Messing schwebend legt, der 4 bis 5 Zoll lang, 1,5 Zoll breit, 0,4 Zoll dick und an seiner oberen und unteren Fläche ausgehöhlt ist.

Man kann auch ein 5 bis 6 Zoll langes Kupferprisma anwenden, dessen Querschnitt ein Fünfseit ist, mit einer Basis von 11,4‴, die daran stoßenden Seiten 1‴, die beiden letzten 7‴; letztere sind aber am Scheitel des von ihnen gebildeten Winkels durch einen 2‴ breiten und 1‴ tiefen Einschnitt getrennt. Die Unterlage ist ein Bleizylinder 3″ 3‴ lang, 1″ 3‴ Durchmesser, welcher an seinen Endflächen auf zwei Füßen von 3″ 6‴ Höhe, 2″ 9‴ Breite und 0,5‴ Dicke befestigt ist.

Die Erscheinung tritt nicht kräftig ein bei gleichartigen Metallen, niemals bei verschieden- oder gleichartigen von gleicher Temperatur. Die Stärke der Vibrationen scheint dem Unterschiede der Wärme leitenden Kraft, nicht aber genau der Temperaturdifferenz beider Metalle proportional zu sein. — Die Vermehrung der Berührungspunkte (Adhäsion) und dazwischen liegende Körper (Staub, Amalgam, Oxyd, Öl) können die Oszillationen gänzlich verhindern. — Eine kleine Menge geschmolzenen Silbers, welches man auf einen Ambos ausgießt, kommmt auch zum tönen.

b) Verbreitung der Wärme bei flüssigen Körpern. Übergießt man kaltes Wasser mit heißem Öle, so wird ein im Wasser befindliches Thermometer erst sehr spät einige Temperaturerhöhung anzeigen; eben so wenn man Äther auf kaltem Wasser anzündet. Eine glühende Metallplatte über kaltem und ein Stück Eis unter warmem Wasser vermögen die Temperatur des Wassers nicht sehr zu ändern. Erwärmt man also eine tropfbare oder auch elastische Flüssigkeit von oben her (oder erkaltet man sie von unten), so geschieht die Erwärmung (Abkühlung) ganz wie bei festen Körpern allmählig, sehr langsam, durch Leitung.

Geschieht dagegen die Erwärmung von der Seite oder von unten, so steigen die durch die Wärme ausgedehnten und leichter gewordenen Flüssigkeitstheilchen aufwärts und werden durch andere, die kälter sind, ersetzt, so daß ein fortwährender Kreislauf in der Flüssigkeit entsteht, welchen man bei Wasser durch hineingeworfenes Bernsteinpulver, bei der Luft in Stuben etwa durch Anwendung von Raücherpulver oder Papierschlangen bemerklich machen kann. — Durch diese Bewegung wird die Wärme von der Quelle aus fortgepflanzt, aber nicht durch den ganzen

Raum der Flüssigkeit gleichmäßig verbreitet, weil die wärmeren und spezifisch leichteren Theilchen sich stets oben zu halten suchen und wirklich oben bleiben, wenn die Bewegung aufhört. Die Wärme verbreitet sich demnach in flüssigen Körpern entweder durch Leitung allein oder auch durch Strömung der Flüssigkeit.

Mittel durch zirkulirendes warmes Wasser Raüme z. B. Treibhaüser zu heizen. Kochgeschirre müssen unten möglichst weit sein, wenn sie auf Plattenheerden recht vortheilhaft sein sollen. — Das Kühlwasser wird in Destilationen immer von unten zu, von oben abgeleitet; in Badehaüsern geschieht die Leitung umgekehrt. — Will man in hohen Raümen, z. B. Stuben, die Wärme von der Decke herabbringen, so muß ein Kreislauf unterhalten werden, was dadurch geschehen kann, daß man durch den Ofen eine am Fußboden und an der Decke mündende Röhre leitet (Luftheizung). Der Zug in einer solchen Röhre, so wie in einem Schornsteine findet aber nur so lange statt, als ein Unterschied zwischen dem Gewichte der aüßeren und inneren Luft vorhanden ist, also als die Röhre selbst noch über die aüßere Temperatur erwärmt ist und zwar um so lebhafter, je länger und wärmer die Röhre ist; denn der auf die untere Mündung ausgeübte Druck ist gleich dem Unterschiede zwischen dem der eingeschlossenen und einer eben so langen Luftsaüle der freien aüßeren Luft. — Hohe und enge Schornsteine ziehen unter übrigens gleichen Umständen besser, als niedrige und weite; im Winter zieht es besser, als im Sommer. Die Abmessungen des Schornsteines müssen sich auch nach der Größe des Feuers richten, weil die oben austretende Luft immer noch etwas wärmer sein muß, als die aüßere. Da die Abkühlung nach oben zunimmt, so ist es zweckmäßig, den Schornstein nach oben zu verengen. — Enge und hohe Lampenzylinder bringen ein lebhaftes Brennen hervor. — Verbrennen des Rauches.

Bewegung der Atmosphäre. Wenn zwei ungleich warme Zimmer mit einander in Verbindung gebracht werden, so bildet sich ein doppelter Luftstrom: die Luft nimmt aus dem wärmeren von oben, aus dem kälteren von unten ihren Abzug nach dem anderen. Ebenso ist es im Freien; wenn irgendwo das Gleichgewicht gestört worden, so entsteht eine Strömung, wenn z. B. eine Feuersbrunst auch bei ruhiger Luft entsteht, so bildet sich doch während derselben ringsum eine lebhafte Bewegung der Luft. Die Strömungen der atmosphärischen Luft heißen Winde. Wir wollen die wichtigsten derselben betrachten.

Scheint die Sonne auf eine isolirte Insel, so erwärmt sie dieselbe mehr, als das umgebende Meer; die Luft über ihr steigt empor, die vom Meere fließt unten nach der Insel oder es entsteht ein Seewind; nach Sonnenuntergang kühlt das Land schneller aus, als das Wasser, und es muß deßhalb ein Landwind entstehen. Diese Winde sind nur auf kürzere Strecken von der Küste wahrnehmbar.

Da die Sonnenstrahlen die Zone zwischen den beiden Wendekreisen am meisten erwärmen, so muß, namentlich dort, wo sie die Erde senkrecht treffen, stets ein aufsteigender Luftstrom entstehen und es würde an der Erdoberfläche ein Zufluß genau in der Richtung von beiden Polen aus, also nördlich von der senkrecht getroffenen Stelle ein Nordwind, südlich ein Südwind die Folge sein, wenn die Erde nicht eine Axendrehung besäße. Wegen letzterer bringt die nach der heißen Zone zu sich bewegende Luft eine geringere Rotationsgeschwindigkeit von Westen nach Osten vermöge des Beharrungszustandes mit, als zufolge der gleichförmigen Axendrehung diejenigen Orte besitzen, über welche sie kommt; sie bleibt also

gegen Westen zurück, d. h. die Luft unter einem bestimmten Meridiane kommt immer mehr und mehr unter westlichere Meridiane, je mehr sie sich dem Äquator nähert und es wird einerseits aus dem Nordwinde ein Nordost (nach S.-W. gehend) und andererseits aus dem Südwinde ein Südost (nach N.-W. gehend). Dieses sind die in der heißen Zone und deren Nähe wehenden Passatwinde (in der nördlichen Halbkugel bis 29°, in der südlichen bis 25° Breite), welche in ihrer größten Reinheit auf dem stillen Ozeane, etwa 50 Meilen vom Festlande hervortreten, mit dem senkrechten Stande der Sonne, wo sie zusammen treffen, bald nördlicher, bald südlicher hinrücken, und einen stets reinen Himmel zur Folge haben, weil es an einer Vermischung verschiedener Luftströme fehlt.

Die Passatwinde beweisen direkt die Axendrehung der Erde. — Weil über der erhitzten Sandfläche der weit ausgedehnten Wüste Sahara fortwährend ein verdünnter Luftstrom aufsteigt, findet sich statt des Passatwindes zwischen den kanarischen und kapverdischen Inseln, besonders aber zwischen dem Vorgebirge Bojador und dem Ausflusse des Senegal meist ein Westwind.

Zwischen den beiden Passaten ist eine Zone von etwa 6° Breite, in welcher sich aus den beiden Passaten ein Ostwind bildet, der aber wegen der starken Erwärmung der Erde von den Sonnenstrahlen durch den aufsteigenden Strom aufgehoben wird, d. i. die Zone der Kalmen oder Windstillen, worin aber auch die heftigsten Gewitter und Stürme sich bilden, wenn wegen bedeutender Hitze ein sehr heftiger aufsteigender Strom entsteht, also auch ein sehr rascher Zufluß von beiden entgegen gesetzten Seiten stattfindet.

Da nun in der nördlichen Halbkugel der untere Luftstrom ein nordöstlicher, in der südlichen ein südöstlicher ist, so muß in jener ein oberer südwestlicher, in dieser ein nordwestlicher abfließender Strom entstehen. Die Erfahrungen bestätigen dieses in der That. Je weiter diese Ströme nach den Polen kommen, desto mehr kühlen sie sich ab, desto mehr senken sie sich also, bis sie mit den Polarströmen vereinigt neben ihnen hergehen, theilweise dieselben verdrängen, um dann den Kreislauf aufs Neue zu beginnen.

Daher wechseln in der nördlich gemäßigten Zone Nordostwinde mit Südwestwinden, in der südlichnn Südost- mit Nordwestwinden und bringen mehr oder minder davon abweichende Zwischenwinde hervor, jenachdem der eine oder der andere von ihnen heftiger ist. Im westlichen Europa und bis Nordamerika hin herrschen vor die Südwest-, im östlichen die Nordost- und Nordwestwinde. Örtliche Verhältnisse (z. B. Gebirgszüge) und besondere Naturerscheinungen bringen viele Abweichungen hervor. — Im Allgemeinen ist in der nördlichen Halbkugel die Anzahl der zwischen S. und W. liegenden Winde überwiegend, denn der Nordoststrom hat wegen seiner niedrigeren Temperatur eine geringere raümliche Ausdehnung, als der wärmere Südweststrom und wird daher für einen bestimmten Beobachtungsort weniger oft erscheinen. Übrigens nimmt die nördliche kalte Strömung auf ihrem Wege nach Süden bei wachsender Temperatur immer mehr Dünste in sich auf, während die dunstreichere warme Südströmung bei ihrer Abkühlung dieselben verliert; daher bringen auch die nördlichen Strömungen einen höheren, die südlichen einen niedrigeren Barometerstand mit sich.

Sowie bei isolirten Inseln im Laufe eines Tages ringsum ein Land- und Seewind entsteht, so tritt bei Kontinenten im Laufe eines Jahres ein solcher Wechsel zwischen Land- und Seewind ein, wenn nur in dieser Periode eine sehr ungleiche Erwärmung vorhanden war. Dieses kann aber

nur dann der Fall sein, wenn eine nach Parallelkreisen ungleiche Vertheilung der Länder- und Wassermasse vorhanden ist. In der That findet sich dieses bei Asien, dessen südlicher Theil während unseres Sommers einen Seewind, während unseres Winters einen Landwind hat; dieses sind die Moussons — ein südwestlicher vom April bis Oktober, ein nordöstlicher die übrigen Monate. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die vom Äquator nach Norden strömende Luft in Breiten von immer geringerer Rotationsgeschwindigkeit kommt.

Örtliche Verhältnisse und Ereignisse bringen bisweilen sehr heftige Winde, Stürme, Orkane (mit einer Geschw. bis zu 120 F. in der Sek.) hervor, welche manchmal Wirbel, Windhosen oder Wettersäulen hervorbringen, bei welchen sich wegen der durch die rotirende Bewegung erzeugten Fliehkraft im Inneren eine starke Luftverdünnung bildet, die zu der zerstörenden Wirkung derselben beiträgt. Land- und Wasserhosen. — Die Tornados. Manche Winde sind der Gesundheit nachtheilig: der Harmattan westlich von der Wüste Sahara, der Samum in Arabien, der Chamsim in Ägypten, der Scirokko in Sizilien und Italien.

c) Spezifische Wärme und Wärmekapazität. Bei der Verbreitung der Wärme durch Leitung sind die Resultate wichtig, welche sich zeigen, wenn man gleiche oder ungleiche Mengen gleichartiger oder verschiedenartiger Körper mit verschiedenen Temperaturen verbindet.

α) Hat man von einer Flüssigkeit zwei gleiche Mengen mit verschiedener Temperatur und vermischt dieselben, so gleichen sich die Temperaturen so aus, daß die Temperatur der Mischung das arithmetische Mittel ist zwischen jenen.

Ein Quart Wasser von 20° und 1 Q. von 30° geben eine Mischung von 25°; das eine Quart gewinnt so viel, als das andere verliert. Man giebt hierbei dem Gefäße, worin die Mischung geschieht, im voraus die Temperatur von 25°.

Sind aber ungleiche Mengen M und m einer bestimmten Flüssigkeit mit ungleichen Temperaturen T und t vorhanden, so hängt die Temperatur der Mischung noch von der Menge ab, denn die Summe der Wärme w eines Körpers ist ein Produkt aus der Wärme oder Temperatur t eines Theiles und der Menge m der Theile, $w = mt$, woraus sich die Temperatur eines Theiles $= \frac{w}{m}$ ergiebt. Demnach wird man die Temperatur einer solchen Mischung durch die Formel $\frac{MT + mt}{M + m}$ finden (Richmann).

β) Werden gleiche Gewichtstheile ungleichartiger Körper von verschiedenen Temperaturen zu einander gethan, so zeigt sich ein ganz anderes Verhalten.

1 Pfd. Wasser von 60° und 1 Pfd. Leinöl von 90° geben untermengt eine Temperatur von 70°; das Leinöl verliert 20° während Wasser nur 10 bekommt. Oder: 1 Pfd. Wasser von 90° und 1 Pfd. Leinöl von 60° geben 80°; das Leinöl gewinnt 20°, während Wasser nur 10° verliert. Demnach braucht Wasser doppelt so viel Wärme als Leinöl, um mit ihm eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren oder Leinöl verliert bei gleicher Temperaturerniedrigung doppelt so viel Wärme als Wasser.

1 Pfd. Wasser von 20° und 1 Pfd. Eisen von 60° geben 24°; Wasser hat nur 4° gewonnen, während Eisen 36° verloren hat. Oder:

1 Pfd. Wasser von 60° und 1 Pfd. Eisen von 20° geben 56°; also hat Wasser nur 4° verloren, Eisen aber 36° gewonnen u. s. f.

Daraus folgt überhaupt, daß gleiche Gewichtstheile verschiedenartiger Körper ungleicher Wärmemengen bedürfen, um gleiche Temperaturerhöhungen zu erfahren, oder daß sie ungleiche Mengen von Wärme besitzen, obgleich das Thermometer an ihnen gleiche Temperatur zeigt; Wasser z. B. 9 mal mehr, als Eisen und umgekehrt werden sie durch dieselbe Wärmemenge auf ungleiche Temperaturen gebracht.

Die Wärmemenge, welche zu einer bestimmten Temperaturerhöhung einer bestimmten Gewichtsmenge eines Körpers erforderlich ist, heißt seine spezifische Wärme und das Vermögen verschiedener Körper durch Aufnahme ungleicher Wärmemengen zu derselben Temperatur oder durch Aufnahme gleicher Wärmemengen zu verschiedenen Temperaturen erwärmt zu werden, die Wärmekapazität.

Mit Zu- und Abnahme des Volumens eines Körpers, mag sie durch Veränderung der Temperatur oder des Druckes oder beider zugleich bewirkt werden, nimmt auch die Kapazität zu und ab; daher kommt die Erwärmung bei Verdichtung, die Abkühlung bei Verdünnung der Körper. Wird die Kapazität eines Körpers vermehrt, so entsteht Kälte, weil er mehr Wärme nöthig hat, um seine frühere Temperatur zu haben.

Gehämmertes Kupfer hat eine geringere (0,093), als gegossenes (0,095). Diamant 0,1469; Steinkohle 0,2009; Holzkohle 0,2415. Beim Verdichten der Luft (Luftfeuerzeug), beim Hämmern und Prägen der Metalle, beim Feuerschlagen mit Stahl und Stein, bei chemischen Verbindungen von tropfbaren und elastischen Flüssigkeiten mit festen wird Wärme frei; beim Ausdehnen derselben gebunden oder Kälte fühlbar, daher die Kälte in höheren Schichten der Atmosphäre, beim Ausströmen von flüssiger Kohlensaüre. Deßhalb kann durch Ausströmen komprimirter Luft von der Temperatur der Umgebung Wasser zum Gefrieren gebracht werden. Dämpfe sind beim Ausströmen kälter, als vorher.

Die spezifische Wärme eines Körpers wächst mit Zunahme seiner Temperatur zwischen 0° und 300°, weßhalb auch die der Kohärenzkraft entgegen wirkende Repulsivkraft, mithin auch die Volumenvergrößerung wachsen muß und zwar für höhere Temperaturen mehr, als für niedrigere. Da nämlich die Wärme die Körper ausdehnt, so muß auch ein bestimmter Körper bei höherer Temperatur eine größere Wärmekapazität besitzen, als bei niedrigerer; z. B. Platin hat bei 100° 0,0328; bei 1000° 0,0373 spez. W. und seine mittlere Kapazität zwischen 0° und 100° ist 0,0335, zwischen 0° und 300° ist sie 0,0355.

Da die spez. W. des Goldes etwa $\frac{1}{32}$, des Silbers $\frac{1}{18}$, des Kupfers $\frac{1}{10}$, des Eisens $\frac{1}{9}$ beträgt, so scheint sie in genauerem Zusammenhange mit der Leitungsfähigkeit der Körper zu stehen, welche dieselbe Stufenfolge besitzt.

Durch aüßerst sorgfältig angestellte Versuche hat man für viele Fälle gefunden, daß die Produkte aus der spez. W. eines jeden Elementes mit seinem Atomgewichte stets einander gleich sind, daß also für eine bestimmte Wärme und Dichtigkeit das Verhältniß der spez. W. zweier Elemente dem ihrer Atomgewichte umgekehrt proportionirt ist, z. B.

die spezifische Wärme des Kupfers 0,0949 × seinem Atomgewichte 395,7 = 37,55;

die spezifische Wärme des Eisens 0,1100 × dem Atomgewichte 339,2 = 37,13.

Da zwar das Atomgewicht eines Körpers eine konstante Größe ist, nicht aber seine Wärmekapazität, so dürfte dieses Gesetz nicht als allgemein gelten.

Von den Methoden die spezifische Wärme der Körper zu bestimmen, führt die oben erwähnte Mischungsmethode zu genaueren Resultaten, als die mittelst des Kalorimeters die Menge des aus Eis von 0° durch den zu untersuchenden Körper gewonnenen Wassers anzugeben (Schmelzungsmethode), oder als die aus der Zeit, welche der Körper nothwendig hat, um in einem luftleeren Raume, welcher mit Wasser von konstanter Temperatur umgeben ist, um eine gewisse Anzahl von Graden zu erkalten, einen Schluß zu ziehen, nämlich: die spez. Wärmemengen zweier Körper verhalten sich so zu einander, wie die Zeiten, die sie zu ihrer Erkaltung bedürfen.

Zur Untersuchung der spezifischen Wärme der Gase ist erforderlich, daß sie bei gleicher Temperatur unter gleichem Drucke mittelst eines Schlangenrohres Wasser von bestimmter Temperatur um eine gewisse Anzahl von Graden erwärmen. Es werden dazu verschiedene Volumina von verschiedenen Gasen erforderlich sein.

Darnach ist die Wärmekapazität der atmosphärischen Luft 0,2669 von der des Wassers gefunden worden, wobei man Wasser langsam durch das Schlangenrohr hat gehen lassen, bis die Temperatur des Kühlwassers so hoch ist, als bei dem Versuche mit atmosphärischer Luft. — Wasser hat von allen Körpern die größte und für alle Temperaturstufen eine konstante Kapazität, weßhalb sie als Maßeinheit für die übrigen Körper genommen wird.

d) Vertheilung der Wärme bei der Erde.

α) An der Oberfläche. Durch die Lage der Erdaxe gegen ihre Bahn wird allein die große Mannigfaltigkeit in der Erwärmung der Erde durch die Sonne sowohl in den Tages- als auch in den Jahreszeiten bewirkt. Auf den Äquator scheint sie jährlich zweimal (den 21. März und 21. September) senkrecht; auf alle übrigen Punkte der 2 . 23½° = 47° breiten heißen Zone zwischen den beiden Wendekreisen zwar auch (auf jeden Wendekreis nur einmal, den 21. Juni und 21. Dezember), aber der Winkel kann schon um 47° abnehmen. In dieser Zone ist auf dem Äquator Tag und Nacht stets gleich und an den übrigen Orten ist der Zeitunterschied zwischen dem längsten Tage und der kürzesten Nacht nur etwa 1½ Stunde. Je weiter aber ein Ort nach den Polen zu liegt, desto schiefer können ihn die Sonnenstrahlen treffen, desto größer wird der Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Stande der Sonne über dem Horizonte und desto größer auch der Unterschied zwischen der Länge der Tage und Nächte (bei 66° 32′ Breite dauert der längste Tag schon 24 Stunden, bei 67° 23′ einen Monat, bei 73° 39′ drei Monate, bei 90° sechs Monate). Da nun die Wärme eines Ortes theils von der Richtung, in welcher die Sonnenstrahlen ihn treffen, theils von der Dauer, durch welche sie ihn bescheinen, abhängt; so sind die natürlichen Folgen,

daß in der heißen Zone die Vertheilung der Wärme während des ganzen Jahres ziemlich gleichförmig ist, also keine Jahreszeiten existiren;

daß die Wärme vom Äquator nach den Polen hin zwar abnimmt, aber der Unterschied zwischen den höchsten Tagestemperaturen wächst, also schärfer gesonderte Jahreszeiten hervortreten;

daß die höchste Tagestemperatur selbst in bedeutenden Breiten, z. B. unter den Polarkreisen, noch groß sein kann. (In Petersburg bisweilen 30° C.).

Es ist klar, daß wegen der ungleichen Vertheilung von Wasser und Land und wegen der mannigfachen Höhenzüge, Waldungen, Sandflächen auf letzterem die Wärmeabnahme nach den Polen nicht allein von der geographischen Breite abhängt. — Die Nähe des Meeres mäßigt:

1) die Kälte, weil es als ein schlechterer Wärmeleiter die am Tage und im Sommer entwickelte Wärme länger behält, als das Festland und weil es auch nicht so ausstrahlt wie letzeres;
2) die Wärme, weil es fortwährend und um so mehr ausdünstet, je mehr es erwärmt wird. — Seeklima.

An den Höhenzügen strömt die kalte Luft höherer Regionen herab. Die höheren Schichten sind weniger dicht, begünstigen also die Ausdünstung und die Kälteerzeugung. In einer gewissen Höhe über einem jeden Punkte der Erde schmilzt der Schnee niemals mehr: Schneegränze.

Will man genauere Aufschlüsse über die (täglichen, monatlichen, jährlichen) Temperaturverhältnisse der verschiedenen Orte der Erde haben, so muß eine große Reihe von Beobachtungen stets zu denselben Tageszeiten unter Berücksichtigung vieler Vorsichtsmaßregeln angestellt werden, damit der Einfluß zufälliger Störungen möglichst beseitigt werde.

1) Tägliche Temperatur. In der Regel findet während eines Tages die geringste Wärme kurz (etwa 20 Minuten) vor Sonnenaufgang, die größte im Winter eine, im Sommer etwa zwei Stunden nach Mittag statt. Das tägliche Mittel findet man entweder durch stündliche Beobachtungen des Thermometers oder durch drei Beobachtungen in gleichen und angemessenen Zwischenraümen (6 Uhr früh, 2 Uhr mittags, 10 Uhr abends) oder durch das Maximum und Minimum. Die beiden letzten Methoden geben auch ziemlich genaue Resultate. Die Temperaturen zwischen 9 und 10 Uhr vormittags und um 8 Uhr abends stimmen ziemlich mit dem Tagesmittel. Dieses ist für denselben Tag in verschiedenen Jahren verschieden. Durchschnittlich ist in der nördlich gemäßigten Zone der 21ste Juli der heißeste, der 14te Januar der kälteste Tag des Jahres. Die täglichen Temperaturunterschiede sind im Winter kleiner als im Sommer, in den gemäßigten und kalten Zonen kleiner, als in der heißen, besonders in den Sandwüsten des Inneren von Afrika.

2) Monatliche Temperatur. Die mittlere Monatstemperatur findet man, wenn man die Summe der mittleren Tagestemperaturen des Monates mit der Anzahl der Tage dividirt. Die mittlere Monatstemperatur ist für denselben Ort in verschiedenen Jahren ziemlich verschieden; es bedarf also einer ziemlich großen Reihe von monatlichen Mitteln, um die wahre Mitteltemperatur zu finden. Im Allgemeinen ist in unseren Gegenden der Juli der heißeste, der Januar der kälteste Monat des Jahres; wegen Verschiedenheit der örtlichen Einflüsse treffen die Maxima und Minima für verschiedene Orte derselben Halbkugel unter gleicher Breite nicht auf denselben Monat.

3) Jährliche Temperatur. Die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes ist das arithmetische Mittel aus den 12 monatlichen Mitteln. Sie weicht in der Regel nur wenig ab von dem aus einer größeren Reihe von Jahresmitteln gefundenen Mittel, so daß die Summe der Wärme eines

bestimmten Ortes für alle Jahre eine ziemlich beständige Größe ist. Der mittlere Gang der Wärme eines Jahres muß zweimal die mittlere Jahrestemperatur durchschreiten, im Frühlinge und Herbste (den 24. April und den 21. Oktober). Bedeutende Abweichungen von diesem Gange sind niemals auf einen kleinen Raum beschränkt, sondern erstrecken sich über größere Gebiete, niemals aber über ganze Halbkugeln.

Verbindet man alle Orte, welche eine gleiche mittlere Jahrestemperatur haben, so bekommt man die isothermischen Linien, welche nicht in Parallelkreisrichtungen laufen. Die mittlere Jahrestemperatur der Meeresufer am Äquator ist 27,5° C; aber die Wärmeabnahme nach den Polen ist nicht der zunehmenden geographischen Breite proportional und der Wärmeäquator, d. h. die Verbindungslinie der Wärmemaxima der verschiedenen Meridiane ist nicht dem geographischen Äquator parallel. Der Unterschied der jährlichen Maxima und Minima wächst mit der geographischen Breite, so daß die Sommerhitze in größeren geographischen Breiten die mittlere Temperatur am Äquator übertrifft. Auch ist es wahrscheinlich, daß der Nordpol nicht der kälteste Punkt der Erde ist, sondern daß es zwei Kältepole, den einen über Nordamerika, den anderen über Nordasien giebt, wo die Temperatur im Verhältnisse zur geographischen Breite am geringsten ist.

Durch Vergleichung der Isothermen beider Halbkugeln hat sich als Resultat ergeben, daß die nördliche Halbkugel eine gegen 3° größere (freie) Wärme zeigt, als die südliche, was von der ungleichen Vertheilung von Land und Wasser herrührt (womit aber keineswegs gesagt ist, daß die absolute Wärmemenge beider Halbkugeln verschieden ist).

Nicht alle Orte unter derselben Isotherme haben einerlei Klima; die einen haben eine geringere Winterkälte und Sommerwärme, als die anderen, oder der Unterschied zwischen dem jährlichen Maximum und Minimum der Temperatur ist in dem einen Falle geringer, als in dem anderen. Am Meere gelegene Länder haben jenes Klima (Seeklima), Binnenländer dieses.

Wichtiger Einfluß auf die Vegetation. Linien gleicher Wintertemperatur: Isochimenen; gleicher Sommertemperatur: Isotheren.

Einfluß auf das Barometer. So wie die ungleiche Vertheilung der Wärme in den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten die vorzüglichste Ursache der Entstehung der Winde war, so ist sie auch eine wesentliche Bedingung für den Gang des Barometers. Die oben angeführten täglichen und jährlichen Schwankungen, so wie die Lage der Maxima und Minima findet jetzt eine zureichende Erklärung. Wird an einem Orte die Luft bedeutend erwärmt, so dehnt sie sich sehr aus, wird namhaft leichter, steigt aufwärts und fließt oben nach den Seiten hin ab, indem sie sich auf die kälteren Luftschichten der Umgebung lagert; es muß also an dem warmen Orte der Barometerstand niedriger sein, als an dem kalten, wenn ihn andere Einflüsse nicht etwa ändern. In unseren Gegenden sind die Südwestwinde warm, die Nordostwinde kalt; also ist bei jenen ein niedriger, bei diesen ein höherer Barometerstand; jene bringen uns Feuchtigkeit vom Meere, welche sich nach und nach niederschlägt und auf diese Weise nach und nach zur Erniedrigung des Barometerstandes beitragen, diese dagegen trockene Luft und heitere Tage. (Wenn ein kalter Luftstrom auf einen warmen dunstreichen trifft, bilden sich natürlich auch

Niederschläge). Im allgemeinen kann man also bei uns wohl sagen, daß ein hoher Barometerstand schönes, ein niedriger aber schlechtes Wetter anzeigt. An der Südostküste Südamerikas ist es umgekehrt; hier bringt der kältere Südostwind Regen, (aber weniger, weil er in immer wärmere Gegenden kommt) und höheren Barometerstand hervor, als der wärmere Landwind von Nordwest. An der Westküste bringt der Nordwest natürlich mehr Feuchtigkeit.

β) Wärme der Erde nach der Tiefe. Die Beschaffenheit der die Oberfläche der Erde bildenden Körper und darnach ihr Vermögen durch die Sonne erwärmt zu werden ist aüßerst verschieden. Kahle Felsen und sandiger Boden können einen sehr bedeutenden Wärmegrad annehmen (in den afrikanischen Sandwüsten 50° bis 60° C.), während ein mit lebenden Pflanzen bedeckter Boden kühl bleibt, weil die Pflanzen bei ihrer Ausdünstung Wärme aus dem Boden aufnehmen. Diese Verschiedenheit der Temperatur kann sich aber nicht bis in große Tiefen erstrecken, weil der Erdboden ein schlechter Wärmeleiter ist. Eben deßhalb tritt das tägliche und jährliche Maximum in ihm später ein, als in der Atmosphäre. In Deutschland verschwinden die täglichen Schwankungen schon bei 2 Fuß; in einer größeren Tiefe, 50 bis 60 Fuß, sogar die jährlichen, so daß für jeden Ort in einer gewissen Tiefe die Temperatur sich nicht ändert.

In der heißen Zone ist wegen der ziemlich gleichförmigen Wärme in den verschiedenen Jahreszeiten die Tiefe für die konstante Temperatur geringer (kaum zwei Fuß). Die konstante Temperatur kann nur dann Null sein, wenn die mittlere Jahreswärme nicht über 0° liegt; es ist dann in einer bestimmten Tiefe der Boden stets gefroren. Dringt man aber tiefer in die Erdrinde ein, wie es namentlich bei Bohrungen artesischer Brunnen geschehen ist, so findet sich mit fast 120 rhl. Fuß Tiefe eine Wärmezunahme von 1° R. und es müßte, wenn dies regelmäßig fortginge, bei 12000 Tiefe die Temperatur 100°, in noch größerer Tiefe noch bedeutender sein. Für die Richtigkeit der Annahme einer Wärmezunahme nach unten sprechen schon die heißen Quellen und vulkanischen Erscheinungen.

In dem Keller des Observatoriums zu Paris hat man bei einer Tiefe von etwa 7° schon seit dem 17. Jahrhunderte die konstante Temperatur 11,82 C. beobachtet. — Die Salzsoole, welche dem 2219,5 Fuß tiefen Bohrloche zu Neusalzwerk bei Preußisch-Minden entquillt, hat bei einer mittleren Bodentemperatur von 8° R. eine beständige Temperatur von 18,5 R. = 23° C.; die eine Quelle zu Aachen 50°, der Sprudel in Karlsbad 69°, der Geiser in Island 100° C. Ueberhaupt zeigen Quellen, welche aus der Tiefe der Erde kommen, eine ziemlich gleichbleibende Temperatur, welche bei den flacher liegenden von der mittleren Bodentemperatur wenig abweicht (sie ist im September am höchsten, im März am niedrigsten) und in der heißen Zone etwas niedriger, als die mittlere Lufttemperatur; nur in größeren Breiten etwas höher.

Was nun die Temperatur der Gewässer der Erdoberfläche anlangt, so nehmen auf Binnenseen die oberen Schichten des Wassers, in Flüssen die ganze Wassermasse einen ziemlich bedeutenden Antheil an den Temperaturschwankungen der Atmosphäre; denn bei jenen reichen die heftigsten Bewegungen nicht tief herab, so daß sich das im Sommer erwärmte spezifisch leichtere Wasser stets oben erhält, während bei diesen eine größere Vermischung stattfindet. In größeren Tiefen der Seen ist die Temperatur ziemlich beständig (in der Schweiz hat man sie 5° gefunden), und tiefe Seen können auch nur dann zufrieren, wenn eine strenge Kälte lange an-

hält; denn bei der allmähligen Abkühlung der Oberfläche erreicht das Wasser sein Dichtigkeitsmaximum (3,9°), es sinkt dann abwärts, wärmeres steigt aufwärts und dies geschieht so lange, als noch wärmeres Wasser in der Tiefe vorhanden, also um so länger je tiefer der See ist. Flache Stellen, besonders am Ufer, belegen sich daher eher mit einer Eisdecke, als tiefe.

Bei den freien Meeren der Tropen ist die Temperatur ihrer Oberfläche in der heißesten Tageszeit etwas niedriger, um Mitternacht etwas höher, als die der Luft; durchschnittlich aber ist die des Wassers etwas höher; in größeren Breiten bis zu 50° ist die Oberfläche des Wassers nur selten, in den Polargegenden fast nie kälter, als die Luft in größeren Entfernungen von der Küste, und die täglichen Schwankungen sind darin weit geringer, als auf dem Lande (in den Tropen 1 bis 2°, bis 50° Br, nur 2—3°). Die Meereswärme ist der mittleren des Ortes sehr nahe gleich. Nach der Tiefe zu nimmt in den Tropen die Temperatur des Meereswassers ab, in den Polargegenden zu, was sich aus einer ähnlichen Doppelströmung erklärt, wie wir sie bei der Luft kennen. Örtliche Strömungen, so wie die ungeheuren Eisbildungen der Polarmeere, wodurch wegen des veränderten Salzgehaltes das Dichtigkeitsmaximum und der Gefrierpunkt des Wassers etwas geändert werden, bilden davon Ausnahmen.

γ) Wärme nach der Höhe. Die Luft über der Erdoberfläche wird theils und vorzüglich durch die Mittheilung von dieser erwärmt, theils durch die Absorption der Wärme aus den Sonnenstrahlen unmittelbar. Die höheren Luftschichten müssen aber schon deßhalb kälter sein, als die niedrigeren, weil sie von der Quelle der Mittheilung weiter entfernt sind und weil sie als die dünneren weniger zur Entwickelung der Wärme aus den Sonnenstrahlen geeignet sind. Wenn nun auch die Schichten an der Erdfläche zufolge ihrer größeren Erwärmung sich ausdehnen, spezifisch leichter werden und emporsteigen, so binden sie doch zugleich während der mit dem Steigen verbundenen Ausdehnung Wärme, können also nicht dazu beitragen, den höheren Schichten eine größere Temperatur zu verleihen. Die Abnahme der Temperatur, etwa 1° auf 1000 Fuß an der Oberfläche, kann noch in der Nähe der Erde mit der Erhebung nicht überall proportional sein, weil die sich in die Atmosphäre erhebenden Ländermassen von sehr verschiedener Gestalt und Ausdehnung sind. Isolirte Berge können die Atmosphäre nicht so sehr erwärmen, als gleich hohe Hochebenen (besonders deren Mitte), obwohl hier die täglichen Wärmeunterschiede bedeutender sein müssen, als in der Tiefe und an einzelnen Bergen, indem zwar die dünnere Atmosphäre den Sonnenstrahlen ein geringeres Hinderniß bietet, aber auch die nächtliche Abkühlung befördert. — Aber in größerer Entfernung von der Erde muß die Wärmeabnahme nach oben regelmäßiger sein und wahrscheinlich in einer geometrischen Reihe abnehmen für die in einer arithmetischen wachsenden Höhen. Darnach würde über dem Äquator, wo der mittlere Barometerstand 337,3 par. L. und die mittlere Temperatur 22,4° R. beträgt, die Atmosphäre 27,5 geographische Meilen, dagegen wo die mittlere Jahrestemperatur 8° beträgt, nur 27,1 geographische Meilen hoch sein. — Abplattung der Atmosphäre; ihre Gränze überhaupt ist da, wo die spezifische Elastizität der Luft und ihre Schwere einander das Gleichgewicht halten.

Schneeregion. Wenn man bis in die Region kommt, in welcher das Thermometer zu keiner Jahreszeit über 0° steht, so bestehen alle Niederschläge nur aus Schnee: es ist die Schneeregion. Die Schneegränze liegt unter dem Äquator am höchsten (in Amerika etwa 15000 Fuß) nähert sich nach beiden Polen zu der Erdoberfläche und liegt in der kalten Zone (etwa 80° Breite) auf ihr. Sie ist allenthalben höher, als der Ort, in welchem die mittlere Jahrestemperatur 0° ist, weil hier die Sommerwärme über 0° den bei der Winterkälte unter 0° fallenden Schnee schmelzt; es kann also die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes in oder noch unter der Schneegränze sehr niedrig sein, wenn nur der Unterschied der Jahrestemperatur groß ist.

Von der Gränze des ewigen Schnees abwärts liegt eine Region, in welcher zeitweise Schnee fällt, ohne stets liegen zu bleiben; sie ist in der heißen Zone schmaler als in der gemäßigten wegen der geringeren Temperaturschwankungen in jener.

Daß die Lage der Gebirgszüge z. B. des Himalaya, so wie die Nähe der Meere auf die Höhe der Schneegränze von Einfluß sein muß, unterliegt keinem Zweifel.

Gletscher. Von hohen Gebirgen aus ziehen sich in die Thäler der Vegetation oft ungeheure Eismassen, die aus lauter durchsichtigen Eiskörnern bestehen, welche um so kleiner werden, je höher man heraufkommt, bis sie in Schnee übergehen; dies sind die Gletscher, welche aus den in den Thälern (zum Theil durch Winde und Lavinen) angehaüften Schneemassen durch Aufthauen am Tage beim Sonnenschein und abwechselndes Gefrieren während der Nacht nach und nach entstehen.

Auf der unteren Seite der Gletscher schmilzt das Eis und zwar von da an, wo es den Boden an der niedrigsten Stelle berührt bis zu einer Höhe von 6000 Fuß. Ursprung der Gewässer unter den Gletschern, Entstehung der Löcher in ihnen.

B. Verbreitung der Wärme durch Strahlung.

Stellt man zwischen sein Gesicht und ein offenes Feuer oder einen heißen Ofen einen Papierschirm oder selbst eine Glastafel, so wird das Gefühl der Wärme augenblicklich unterbrochen, bei der Wegnahme des Schirmes sofort wieder hergestellt. — Man stelle ferner einem Segmente eines sphärischen oder parabolischen Hohlspiegels aus polirtem Messingbleche oder einem anderen Metalle in einiger Entfernung einen heißen Körper gegenüber, so zeigt ein im Brennpunkte des Spiegels befindliches Thermometer eine höhere Temperatur, als ein anderes, dem warmen Körper sogar näheres. — Stehen zwei solche Spiegel 15 bis 20 Fuß einander gegenüber mit ihren Axen in einer graden Linie, so bringt ein heißer Körper in dem Brennpunkte des einen augenblicklich eine Temperaturerhöhung in dem anderen hervor, die bis zu einer Entzündung leicht brennbarer Körper gesteigert werden kann, wenn man in jenem ein lebhaftes Glühen unterhält, wobei außerhalb des Brennpunktes die Wärme weit geringer ist. Aus dem Angeführten ist klar, daß sich die Wärme außer durch Leitung bei der unmittelbaren Berührung der Körper noch durch gradlinige Strahlung, wie das Licht, in die Entfernung fortpflanzt ohne jene Berührung.

Bringt man in den Brennpunkt des einen der obigen zwei Spiegel einen Körper, dessen Temperatur niedriger ist, als die der Umgebung, so sinkt das

Thermometer in dem anderen, weil es mehr Wärme aussendet, als empfängt. (Die Annahme von Kältestrahlen ist irrig.) Stellt man während einer heiteren Nacht im Freien ein Thermometer in den Brennpunkt eines Hohlspiegels, so sinkt seine Temperatur auch unter die der Umgebung, weil es mehr Wärmestrahlen aussendet, als es von dem Himmelsraume empfängt; bei trübem Wetter ist dieses nicht der Fall; Dünste müssen also die Wärmestrahlung hindern.

Es ist nun zu untersuchen, ob alle Körper gleich fähig sind die Wärme auszustrahlen, zurück zu werfen und durchzulassen.

a) Wärmestrahlungsvermögen der Körper. Versuche haben als Thatsache festgestellt, daß das Strahlungsvermögen nicht nur von der Verschiedenheit der Materie der Körper, sondern auch von der Beschaffenheit ihrer Oberfläche und von ihrer Dicke bis zu einer gewissen Gränze abhängig ist, nicht aber von der Verschiedenartigkeit der Wärmequellen und der Temperatur der Umgebung, insofern diese die Temperatur des strahlenden Körpers nicht ändert.

Je dichter ein Metall ist, desto weniger gut strahlt es aus, also gehämmertes schlechter, als gegossenes; wird daher die polirte Oberfläche von gehämmertem Metall geritzt, so strahlt es besser, wenn aber von gegossenem, so strahlt es schlechter aus, weil im ersten Falle weniger dichte Stellen bloß gelegt werden und in diesem durch den Druck die Dichtigkeit um etwas vermehrt wird. Das Ritzen hat bei Glas, Agat, Elfenbein, Papier, Marmor u. a. keinen Einfluß, weil dadurch die Härte und Elastizität nicht geändert wird Rauhe Öfen strahlen besser, als glatte und glasirte; oxydirte Metalle besser, als blanke; die mit Pflanzen bedeckte Bodenfläche kühlt schneller ab, als eine weniger rauhe.

Wenn das Strahlungsvermögen von Kienruß mit 100 bezeichnet wird, so ist das von Bleiweiß auch 100, von Hausenblase 91, Tusch 85, Gummilak 72, einer polirten Metallfläche durchschnittlich nur 12, von gewalztem Silber nur 3,026.

b) Wärmeabsorptionsvermögen für auffallende Strahlen. Alle Körper, aber nach ihrer verschiedenen Beschaffenheit in ungleichem Grade, haben das Vermögen die sie treffenden Wärmestrahlen in sich aufzunehmen und sich dadurch zu erwärmen, um so mehr, je dicker sie bis zu einer gewissen Gränze sind, und überhaupt stehen für bestimmte Wärmequellen und eine bestimmte Richtung der ein- und austretenden Wärmestrahlen Wärmeabsorptions- und Strahlungsvermögen in gradem Verhältnisse, so daß alle Mittel, welche die Ausstrahlung eines Körpers vermindern oder verbessern auch sein Absorptionsvermögen schwächen oder steigern. Das Absorptionsvermögen eines Körpers wächst bei Zunahme der Temperatur der Wärmequelle.

Die Größe der Erwärmung hängt bei jeder Substanz mit bestimmter Farbe von der Beschaffenheit ihrer Oberfläche ab. Sollen Thermoskope recht empfindlich sein, so giebt man ihnen einen schwarzen Überzug, am besten von Lampenruß, weil dieser das stärkste und für verschiedene Wärmequellen ein gleiches Absorptionsvermögen besitzt. — In berußten Töpfen kocht Wasser schneller als in blanken. — In einem Zimmer nehmen nach und nach alle Körper von dem verschiedensten Leitungsvermögen dieselbe Temperatur an, weil der besser ausstrahlende auch besser absorbirt — Für verschiedene Wärmequellen ist das Absorptionsvermögen desselben Körpers meist verschieden.— Legt man auf eine Schneefläche bei Sonnenschein Tuchflecken von verschiedener Farbe, so werden sie durch die ungleiche Erwärmung ungleich viel Schnee unter sich schmelzen, also auch ungleich tief einsinken; je dunkler sie sind, um so mehr.

c) Wärmereflexions- und Diffusionsvermögen. Schon der

Versuch mit den Metallspiegeln zeigt, daß die Wärmestrahlen von polirten Körpern unter demselben Winkel, unter welchem sie auffallen, zurück geworfen werden, denn die Spiegel selbst werden nicht merklich erwärmt: polirtes Metall hat also ein geringes Absorptions- und großes Reflexionsvermögen; bei Ruß ist das Gegentheil der Fall und überhaupt müßten diese beiden Vermögen für eine bestimmte Wärmequelle einander bei jedem Körper ergänzen, wenn die Wärme nicht noch eine andere Verbreitungsart besäße.

Da die Metalle die Wärmestrahlen aller Quellen in gleichem Grade absorbiren, so müssen sie dieselben auch in gleichem Verhältnisse zerstreuen. Bleiweiß absorbirt nicht alle Wärmearten gleich gut, zerstreut sie aber auch ungleich. Die Zerstreuung ist den rauhen Flächen eigen.

Die Intensität der reflektirten Wärmestrahlen wird bei einem schwarzen Glasspiegel vermehrt, bei einem Stahlspiegel vermindert, je geringer die Neigung gegen die reflektirende Fläche wird.

Die Wärme wird durch diffuse Reflexion in sehr verschiedener Weise, von einigen Körpern in hohem Grade, von anderen gar nicht verändert. Die Veränderungen werden bedingt durch die Natur der Wärmequellen und durch die Beschaffenheit der reflektirenden Körper. (Pogg. Ann. Bd. 71. St. 1. S. 69.).

Bei jedem Körper wird, er mag ankommende Wärme zum Theil absorbiren oder von sich Wärme aussenden, in dem einen Falle der absorbirte, in dem anderen der emittirte Strahlenantheil stets das Komplement des beim Übergange in den anderen Körper reflektirten sein. Zieht man von der totalen Intensität die Intensität des reflektirten Antheils ab, so bleibt also die Stärke des absorbirten oder emittirten Strahlenantheils übrig.

d) Vermögen die Wärmestrahlen durchzulassen. Schon der Umstand, daß durch die sogenannten Brenngläser leicht entzündliche Körper bei Sonnenschein anbrennen, beweiset die Fähigkeit des Glases Wärmestrahlen durchzulassen. Ein gläserner Ofenschirm würde geringere Dienste leisten, als ein papierner. Luft läßt natürlich die Wärmestrahlen auch durch.

Die verschiedenen Körper theilt man in Beziehung auf das Vermögen Wärmestrahlen durchzulassen ein in diathermane und adiathermane, obwohl sich zwischen beiden keine so scharfe Gränze ziehen läßt und deßhalb hat man auch noch universell- und partiell-diathermane Körper unterschieden. Das Steinsalz, in verschiedener Dicke angewendet, läßt die Strahlen aus allen Quellen, mögen diese durch Leitung oder Strahlung oder auch durch den Lebensprozeß entstanden sein, gleich gut und zwar in unmeßbarer Zeit durch, absorbirt auch keine, weil es sich dabei nicht erwärmt; ebenso wird die Luft durch die Strahlen der Wärme selbst nicht erwärmt. Andere Körper, z. B. schwarzes Glas, lassen die Strahlen aus manchen Quellen gut, aus anderen weniger gut durch; auch ist der Grad der Durchsichtigkeit für eine bestimmte Wärmequelle nicht entscheidend, indem z. B. eine wenig durchsichtige Platte von Rauchtopas die Wärme besser durchläßt, als eine eben so dicke ganz durchsichtige Alaunplatte. Sind aber die Strahlen zuerst durch eine Platte von Zitronensaüre gegangen, so läßt solche Strahlen die Alaunplatte fast vollständig durch; gingen sie zuerst durch eine Glasplatte, so werden sie von der Alaunplatte gänzlich ver-

schluckt. Daraus folgt, daß nicht alle Wärmestrahlen von gleicher Natur sind, sowohl rücksichtlich der verschiedenen Wärmequellen, als auch der Körper, durch welche sie bereits gegangen sind.

Wärmestrahlen verschiedener Wärmequellen, welche direkt auf ein berußtes Thermometer geleitet gleiche Temperaturerhöhung bewirken, durchdringen eine bestimmte Substanz in ungleichem Verhältnisse und erwärmen sie daher auch ungleichmäßig. — Diathermane Körper werden durch diejenigen Strahlen, welche sie am wenigsten durchdringen, in der That am meisten erwärmt; je glatter ihre Oberfläche ist, desto größer ist auch die Menge der durchgelassenen Wärmestrahlen, und ihr Verlust wird um so geringer, je dickere Schichten des Körpers sie bereits durchgangen sind. Da die Intensität der reflektirten Wärmestrahlen von dem Brechungsverhältnisse beider Mittel abhängig ist, so bedingt dieses auch die Stärke der emittirten und absorbirten Strahlen, woraus folgt, daß es nicht gleichgiltig ist, ob die Wärmestrahlung eines Körpers in der Luft oder im luftleeren Raume geschieht.

Thau und Reif. Nach heiteren und windstillen Nächten sieht man im Sommer lebende Vegetabilien, besonders an den Spitzen und Kanten, so wie auch andere Gegenstände mehr oder weniger, jenachdem sie die Wärme besser oder schlechter ausstrahlen, mit zarten Wasserperlen belegt; dies ist der Thau; im Winter aber erscheinen statt seiner zarte Eisnadeln und dies ist der Reif. Bei bedecktem Himmel oder bei Wind treten diese Erscheinungen nicht ein und sie beginnen auch erst nach Sonnenuntergang.

Nimmt man, um den Grund der Erscheinung zu erforschen, zwei Paare von Thermometern, eingeschlossen in nicht strahlende Metallhüllen, das eine von jedem Paare blank, das andere geschwärzt, und bringt das eine Paar auf einer freien grünen Wiese in einer hellen stillen Nacht unmittelbar über dem Grase, das andere Paar in einer Höhe von etwa 5 Fuß so an, daß sie frei an Metalldrähten schweben, so zeigt jedes geschwärzte bald 1,5° tiefer, als das andere neben ihm; aber das untere Paar zeigt oft 5 bis 6 Grade tiefer, als das obere. Diese Temperaturdifferenz zwischen der Luft am Boden und der in einer Höhe von 4 bis 5 Fuß ist unabhängig von der absoluten Temperatur, so daß selbst in Polargegenden bei einer Kälte bis zu — 30° C. der Schnee bisweilen gegen 9° kälter ist, als die Luft 5 Fuß darüber. Daraus folgt: daß bei heiterem Himmel und ruhiger Luft die Lufttemperatur in einer Höhe von 5 Fuß nach dem Erdboden zu abnimmt.

Wenn man ferner von zwei unbekleideten Thermometern das eine auf das Gras legt, das andere daneben frei in der Luft gleichweit vom Erdboden entfernt anbringt, so zeigen sie gleiche Temperatur. Daraus folgt, daß Gras keine niedrigere Temperatur besitzt, als die Luft neben ihm.

Umhüllt man aber das eine Thermometer ganz lose mit Baumwolle, so sinkt seine Temperatur bald unter die des anderen benachbarten. Die Baumwolle strahlt nämlich Wärme nach oben zu aus, die Luft an ihr kühlt sich ab und sinkt in das Innere zwischen die Baumwollenfäden, wird durch die Adhäsion dort noch festgehalten, bis andere wieder noch kältere von der oberen aufs Neue abgekühlten Wolle sie verdrängt, da ihre Temperaturerniedrigung unterhalb der Temperatur des umgebenden Mittels

sich unverändert zu erhalten strebt. Durch diesen sich wiederholenden Vorgang wird nicht nur die in der Baumwolle befindliche Luft, sondern auch die benachbarte so abgekühlt, daß sie zu Boden sinkt und die erwähnte niedrigere Temperatur bewirkt. Was an dem Thermometer die Baumwolle, bringen an der Erdoberfläche die Gewächse u. a. Gegenstände hervor. Daraus ziehen wir den Schluß, daß der Grund für die Entstehung von Thau und Reif in der bei heiteren, windstillen Nächten stattfindenden Wärmeausstrahlung der Gegenstände an der Erdoberfläche liegt, wodurch sie eine unter den Thaupunkt fallende Temperatur erlangen, so daß sich die Dünste der sie umgebenden abgekühlten, selbst zwar nicht ausstrahlenden, aber die Ausstrahlung gestattenden Luft an ihnen absetzen.

Geht der Wind, so hindert er natürlich diese Abkühlung, weil er immer wieder wärmere Luft zuführt. Es ist auch klar, daß die Gegenstände um so besser bethauen, je besser sie die Wärme ausstrahlen (die blanken Metalle bleiben deßhalb auch trocken) und je näher sie sich bei übrigens gleichen Umständen an der Erdoberfläche befinden.

Hohe Bäume bethauen also deshalb nicht, weil sie in eine Luftschicht ragen, welche die Abkühlung der Blätter unter die Temperatur der Umgebung hindert; unter Bäumen fehlt der Thau, weil ihre Blätter die Wärmestrahlung nicht gestatten Auch Wolken hindern die Wärmestrahlung, also auch die Thaubildung. — Eine flache Wasserschicht am Erdboden kann in heiteren und stillen Nächten selbst bei einer Lufttemperatur von + 5° bis + 6° gefrieren, obwohl Wasser selbst ein geringes Wärmestrahlungsvermögen besitzt. — Künstliche Eisbildung in Ostindien in flachen unglasirten Thongefäßen, die über Löchern (im Erdboden) von 6 Zoll Tiefe auf Zuckerrohr und Stroh stehen. — Mangel des Thaues auf den kleinen Inseln Polynesiens und auf Schiffen in weiter Entfernung vom Lande. — Starker Thau in Tropengegenden. — Reif ist gewöhnlich in größerem Maße vorhanden, als Thau. — Während es in höheren Gegenden thaut, kann es gleichzeitig in Niederungen reifen; daher sind die Frühlingsnachtfröste auf Hügeln weniger nachtheilig, als bei klarer Luft in Niederungen. — Pflanzen schützt man vor dem Bereifen und Erfrieren durch eine leichte Bedeckung oder durch Erzeugung eines dicken Rauches; Schmauchfeuer im Freien. — Der sogenannte Honigthau, der Mehlthau gehören nicht hierher.

Verlust der Erdwärme. Die in der Atmosphäre enthaltenen Dünste hindern die Ausstrahlung der Erdwärme; sie findet deshalb nur in heiteren Nächten statt und weil sie da stets stattfindet und eine Temperaturverminderung von 7 bis 9° C. hervorbringt, welches auch die Temperatur der Erdoberfläche sein mag; so muß die Temperatur des Weltraumes eine außerordentlich niedrige sein (auf dem Fort Aliance hat man — 56,7 C. beobachtet). Daß dabei verschiedene Körper nach der Größe ihres Strahlungsvermögens in verschiedenem Grade erkalten, versteht sich von selbst. Die gesammte Erdwärme wird durch die Strahlung in den Weltraum, wenn auch äußerst langsam, immer geringer; die Erregung durch die Sonne vermag nicht den Verlust vollständig zu ersetzen und die Atmosphäre nicht die Ausstrahlung zu verhindern.

Trübe Winter sind wärmer, als heitere. — Organische Überreste mit tropischem Typus in den gemäßigten und kalten Zonen; das geschichtlich nachweisbare allmählige Absterben Islands. — Der deutsche Orden baute noch in Preußen Wein, wo jetzt keiner mehr gedeiht.

c) Brechung der Wärmestrahlen. Läßt man Wärmestrahlen

durch ein dreiseitiges Prisma aus Steinsalz gehen, so haben sie hinter dem Prisma eine andere Richtung, als vor ihm; sie werden durch das Prisma gebrochen und zwar fast genau in derselben Weise, wie es mit den Lichtstrahlen geschieht, nur von verschiedenen Wärmequellen verschieden stark. — Ferner lassen sich durch eine Sammellinse aus Steinsalz dunkle Wärmestrahlen im Brennpunkte sammeln. — Das Sonnenlicht giebt, wenn man die gebrochenen Strahlen auffängt, ein sehr ausgedehntes Wärmebild von sehr verschiedener Wirksamkeit an den verschiedenen Stellen, und zwar an den violetten Strahlen am geringsten — bei Glas wachsend bis über die rothen hinaus. Es müssen also scheinbar einfache Wärmestrahlen aus verschieden brechbaren Bestandtheilen zusammen gesetzt und weniger brechbar sein, als die Lichtstrahlen. Sind die Prismen aus anderen Stoffen, so ist die Wärmevertheilung eine andere, weil sie die Wärme auf verschiedene Weise brechen.

Weil in den verschiedenen Farben die Wärme ungleich vertheilt ist so kann man auch den verschieden gefärbten Gegenständen nur eine ungleiche Fähigkeit der Wärmeerregung zuschreiben. Ein violetter Körper wird durch die Sonnenstrahlen mehr erwärmt, als ein rother, weil jener die am wenigsten erwärmenden violetten Strahlen zurück wirft und die am meisten erwärmenden absorbirt.

Daher die früher schon angeführte Erscheinung an den verschieden gefärbten Tuchflecken auf Schnee. Auf Schneegefilden findet man bisweilen tiefe Öffnungen. Das Licht erwärmt um so mehr, je mehr es seiner Strahlung beraubt wird. — Photometer von Leslie.

f) Absorption der Wärme für durchgehende Strahlen. Die Wärme erleidet auf ihrem Wege durch einen diathermanen Körper eine Schwächung, deren Größe von der Art der Wärmequelle, von der Natur des diathermanen Körpers und von seiner Dicke abhängig ist. Die Absorption wächst bei einem bestimmten diathermanen Körper nicht mit wachsender Dicke in gleichem Verhältnisse, sondern jene nimmt rascher ab, als diese wächst, so daß von einer gewissen Dicke an keine Wärme mehr absorbirt wird; aber diese Dicke ist bei demselben Körper für verschiedene Wärmequellen verschieden, woraus folgt

1) daß schon die ersten Schichten des diathermanen Körpers die absorbirbaren Wärmestrahlen aufhalten,

2) daß die Strahlen verschiedener Wärmequellen in verschiedenem Grade absorbirbar sind.

Bei adiathermanen Stoffen finden dieselben Umstände statt. So wie Steinsalz allein die Strahlen aller Wärmequellen gleich gut durchläßt, so absorbirt Kienruß dieselben gleich gut und fast vollständig.

g) Doppelbrechung der Wärmestrahlen. Läßt man Wärmestrahlen durch einen Kalkspath mit natürlichen Krystallflächen gehen, so bilden sich hinter ihm zwei von einander getrennte gleich intensive Strahlengruppen, von denen bei der Drehung des Krystalles sich die eine um die andere dreht. Ist der Krystall senkrecht zur Axe geschnitten und gehen die Strahlen ihr parallel, so gehen sie einfach durch und ihre Intensität ist die Summe der Intensitäten der beiden vorigen Gruppen, wenn die Wege gleich sind. Uebrigens gehen sie durch einen Kalkspath nach verschiedenen Richtungen in gleichem Verhältnisse durch.

h) Beugung der Wärmestrahlen. Gehen Wärmestrahlen durch einen engen Spalt, so weicht ihre hinter dem Spalte wahrgenommene Ausbreitung von der gradlinigen um so mehr ab 1) in je größerem Abstande vom Spalte die Messung geschieht, 2) je enger der Spalt ist, 3) je größer seine Entfernung von der Wärmequelle ist.

i) Polarisation und Interferenz der Wärmestrahlen. An jedem Ende einer Metallröhre bringe man einen drehbaren Ring an, der 8 bis 10 auf einander gelegte dünne Glimmerblättchen (die Ebenen der optischen Axe in derselben Lage) enthält; mittelst einer Steinsalzlinse, in deren Brennpunkte eine Wärmequelle ist, leite man ein Bündel paralleler Wärmestrahlen durch die Ringe und Röhre und fange auf der anderen Seite der Röhre die Wärmestrahlen durch eine Thermosaüle auf, so wird man bei angemessener Drehung der Ringe um die Axe der Röhre finden, daß die Wärme regelmäßig zu und abnimmt: Polarisation. Durch ein zwischen beide Ringe gebrachtes Glimmerblättchen läßt sich die polarisirte Wärme depolarisiren, d. h. war sie verschwunden, so erscheint sie wieder.

Die beiden durch Doppelbrechung bei einem Kalkspath hervorgebrachten Strahlengruppen sind in zwei auf einander senkrechten Ebenen polarisirt. Durch ein nikolsches Prisma ist die Wärme vollkommen polarisirbar; sie erleidet also auch eine totale Reflexion.

Durchdringt die Wärme zwei nikolsche Prismen und einen dazwischen aufgestellten Kalkspath mit natürlichen Flächen, so zeigen sich hinter dieser Kombination bei der Drehung des Kalkspathes abwechselnd Temperaturerhöhungen und Temperaturerniedrigungen: Interferenz.

Die Polarisation der von einem schwarzen Glasspiegel zurück geworfenen Strahlen erreicht ihr Maximum, wenn sie mit dem Spiegel einen Winkel von etwa 35° bilden; bei einem Metallspiegel ist er nur 15°. Auch durch Glassätze wird die Wärme polarisirt und zwar um so besser 1) je größer bei bestimmter Plattenzahl der Winkel wird, den der einfallende Strahl mit der Senkrechten bildet, 2) je größer bei bestimmtem Einfallswinkel die Anzahl der Glasplatten ist. — Zirkularpolarisation.

C. Über das Wesen der Wärme. Rückblick.

Wenn schon aus den Wirkungen der Wärme sofort erkannt wurde, daß es eine Bewegungserscheinung eines sich unserer sinnlichen Wahrnehmung entziehenden und den Weltraum erfüllenden aüßerst zarten Stoffes, des Äthers ist; so machen es die angestellten Untersuchungen gewiß, daß diese Bewegungen, wie beim Lichte, in transversalen aüßerst raschen Schwingungen geschehen. Das oft gleichzeitige Auftreten von Licht und Wärme, so wie der Übergang des einen in das andere läßt auch schon auf eine gemeinsame Grundursache schließen: beide verbreiten sich strahlenförmig im leeren Raume mit außerordentlicher Geschwindigkeit, werden von gewissen Körpern zurück geworfen, zerstreut, absorbirt, durchgelassen, gebrochen, gebeugt, erleiden eine Polarisation, Interferenz. — Es sind also die Schwingungen für Wärme und Licht wohl dieselben und sie unterscheiden sich nur in der Weite und Geschwindigkeit der Exkursionen, so wie in der Länge der Wellen von einander. So wie bei der Verminderung der Schwingungsdauer eines irdisches Körpers statt des Gesichtes

das Gehör die Wahrnehmung der Schwingungen vermittelt und das Ohr die Schwingungen zählt, wo das Auge uns schon lange verlassen hat, ja wo dieses sogar keine Spur von Bewegung mehr wahrnimmt, eben so tritt für das Gefühl bei wachsender Intensität der Bewegung des Äthers das Auge zur Wahrnehmung dazu. Schwingungen irdischer Körper sind fühlbar und hörbar; Ätherschwingungen sind fühlbar und sichtbar. Bei dem Thermophon hat man sogar den Fall, daß Wärmeschwingungen in Schallschwingungen übergehen oder sie erzeugen. Aber die durch Schallschwingungen erzeugte Wärme bewirkt nur die Vergrößerung der Schallgeschwindigkeit, ohne daß sie frei wird. — Die Prinzipien der Wellentheorie sind für die Schall-, Licht- und Wärmewellen durchgreifend.

Treten Sonnenstrahlen in die Erdatmosphäre, so erleiden die Schwingungen des in ihr verdichteten Äthers eine theilweise Verzögerung in der Geschwindigkeit, welche um so bedeutender wird, je mehr die Schwingungen durch Vermittelung des Äthers der Luft und den übrigen Körpern mitgetheilt werden, wodurch diese sich unserem Gefühle als warm zeigen. Umgekehrt können mechanische Mittel bei Körpern eine gleiche mit Wärmeerscheinungen verknüpfte Erschütterung der Körpertheile erzeugen, wie von außen eintretende Ätherwellen; und diese Erschütterungen können eine solche Intensität erlangen, daß daraus Lichtschwingungen entstehen.

Bei durchsichtigen und diathermanen Körpern befindet sich nur der sie durchdringende Äther in Vibrationen; sind Krystalle für Licht und Wärme doppelt brechend, so hat der Äther in ihnen nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Dichte, also sind die Ätherschwingungen nach diesen verschiedenen Richtungen ungleich schnell.

Ist ein Körper undurchsichtig, so hebt er die Bewegung ankommender Lichtschwingungen auf und leuchtet dann selbst; ist er adiatherman, so hebt er die Wärmeschwingungen auf und erwärmt selbst. — Je mehr die Lichtschwingungen vernichtet werden, desto mehr machen sie sich als Wärmeschwingungen geltend; oder je mehr ein Körper das Licht absorbirt ohne selbst leuchtend zu werden, desto mehr wird er erwärmt; die Lichtabsorption ohne Erwärmung erzeugt wenigstens Phosphoreszenz.

Die Leitung der Wärme im Innern eines Körpers geschieht dadurch, daß die Schwingungen von Molekel zu Molekel durch die Schwingungen des dazwischen befindlichen Äthers getragen werden; vergrößert sich die Schwingungsweite der Theilchen, was bei Temperaturerhöhung geschieht, so nimmt das Volumen des ganzen Körpers zu Gehen die Schwingungen über die Gränzen der Molekularanziehung hinaus, so muß aus dem festen Körper ein flüssiger werden, der so lange im tropfbaren Zustande bleibt, als er entweder durch einen größeren äußeren Druck darin erhalten wird oder als die aufs Neue vermehrte Schwingungsweite durch einen vermehrten Druck kompensirt wird. — Bei chemisch zusammen gesetzten Körpern kann die Erschütterung der Theilchen sogar mit einer chemischen Trennung oder Atombewegung verbunden sein.

Die Wärmefortpflanzung durch Strahlung ist von der durch Leitung nicht wesentlich verschieden; verschiedene Körper leisten nur dabei einen verschiedenen Widerstand, mit dessen wachsender Größe ihre eigene Wärme wächst.

Dieselben in einer bestimmten Wärmequelle thätigen mechanischen Momente werden nicht im Stande sein, in verschiedenen Materien einerlei mechanischen Erfolg zu erzeugen oder die Wärmekapazität und somit auch die spezifische Wärme der Körper muß verschieden sein. — Bei Veränderung des Aggregatszustandes werden ungeachtet derselben Wärmequelle die Schwingungsweiten nicht mehr vermehrt, wohl aber die Schwingungszahlen und so die Wärme, wie man sagt, gebunden.

Wenn der elektrische Strom dadurch erzeugt wird, daß die Molekel der Körper gewaltsam aus ihrer natürlichen Gleichgewichtslage in eine solche gebracht werden, daß sie ihre gleichnamigen Pole nach einerlei Richtung kehren, so kann die Wärme- und Lichterzeugung durch den elektrischen Strom nicht befremden; aber umgekehrt muß die Wärmeerregung nicht in jedem Falle mit Erzeugung eines elektrischen Stromes verbunden sein, sondern sie ist es nur dann, wenn die Molekel dabei einerlei polare Richtung bekommen. Die Erschütterungen unseres Körpers durch den elektrischen Strom und seine Unterbrechung und Umkehrung sind nichts anderes, als die Empfindung der gewaltsamen Verrückung der natürlichen Lage der Körpertheile.

Überhaupt stehen Magnetismus (m), Elektrizität (e), Wärme (w) in einer solchen Wechselbeziehung, daß wir alle hierher gehörigen Thatsachen als aus demselben Grundprinzipe fließend anzunehmen genöthigt sind: jedes bedingt das andere oder ruft es hervor, indem ja in der That alle sechs Variationen zu je zweien zur Erscheinung kommen (me, mw, ew, em, wm, we; für mw und ew hat man bis jetzt keinen besonderen Namen eingeführt, obwohl der durch Magnetismus erzeugte Funke und die durch Elektrizität erzeugte Wärme längst bekannt sind). Aber auch die Lichterscheinungen stehen mit allen diesen wieder in Verbindung. Selbst die Schallvibrationen stehen nicht ganz isolirt da; denn bei der Entstehung der Klangfiguren erzeugt sich auch Elektrizität und das Thermophon zeigt uns Schallschwingungen als Folge von Wärmeschwingungen aus zwei verschiedenen Quellen.

Zu verbessern.

S. 20. Z. 34.: 5,59 statt 5,67; nach Versuchen mit der Torsionswage. — S. 44. Z. 5.: kontinuirlich oder beide kontinuirlich. — S. 59. Z. 5.: gleicher; Z. 9.: Massen. — S. 63. Z. 11.: so daß die erstere; Z. 12.: oder daß der eine Körper aus; Z. 14.: muß gehoben w. — S. 64. Z. 34.: haben. — S. 110. Z. 46.: fast ruhigen. — S. 161. Z. 37.: in der Basis nicht z. entd. — S. 237. Z. 8.: Feuchtigkeit; Z. 14.: brechbarsten.

Dieselben in einer bestimmten Wärmequelle thätigen magnetischen Momente werden nicht im Stande sein, in verschiedenen Materien einerlei mechanischen Erfolg zu erzeugen oder die Wärmekapazität und somit auch die spezifische Wärme der Körper muß verschieden sein. — Bei Veränderung des Aggregatzustandes werden ungeachtet derselben Wärmequelle die Schwingungsweiten nicht mehr vermehrt, wohl aber die Schwingungszahlen und so die Wärme, wie man sagt, gebunden.

Wenn der elektrische Strom dadurch erzeugt wird, daß die Moleküle der Körper gewaltsam aus ihrer natürlichen Gleichgewichtslage in eine solche gebracht werden, daß sie ihre gleichnamigen Pole nach einerlei Richtung kehren, so kann die Wärme- und Lichterzeugung durch den elektrischen Strom nicht befremden; aber umgekehrt muß die Wärmeerregung nicht in jedem Falle mit Erzeugung eines elektrischen Stromes verbunden sein, sondern sie ist es nur dann, wenn die Moleküle dabei einerlei polare Richtung bekommen. Die Erschütterungen unseres Körpers durch den elektrischen Strom und seine Unterbrechung und Umkehrung sind nichts anderes, als die Empfindung der gewaltsamen Veränderung der natürlichen Lage der Körpertheile.

Überhaupt stehen Magnetismus (m), Elektrizität (e), Wärme (w) in einer solchen Wechselbeziehung, daß wir alle hierher gehörigen Thatsachen als aus demselben Grundprinzipe fließend anzunehmen genöthigt sind: jedes bedingt das andere oder ruft es hervor, indem ja in der That alle sechs Variationen zu je zweien zur Erscheinung kommen (me, mw, ew, em, wm, we; für mw und ew hat man bis jetzt keinen besonderen Namen eingeführt, obwohl der durch Magnetismus erzeugte Funke und die durch Elektrizität erzeugte Wärme längst bekannt sind). Aber auch die Lichterscheinungen stehen mit allen diesen wieder in Verbindung. Selbst die Schallvibrationen stehen nicht ganz isolirt da; denn bei der Entstehung der Klangfiguren erzeugt sich auch Elektrizität und das Thermophon zeigt uns Schallschwingungen als Folge von Wärmeschwingungen aus zwei verschiedenen Quellen.

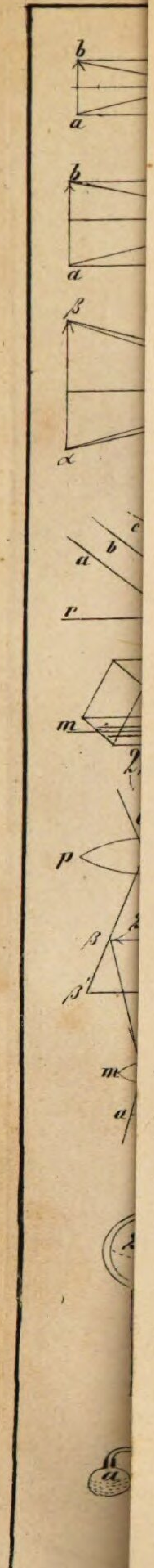
Zu verbessern.

S. 20. Z. 24: 329 statt 367, nach Versuchen mit der Tarsenwage. — S. 41, Z. 3: kontinuirlich oder beide kontinuirlich. — S. 39 Z. 5: gleicher; Z. 8: Wolken. — S. 63 Z. 11: so daß die erstere; Z. 12: oder daß der eine Körper aus; Z. 14: muß gehoben w. — S. 64 Z. 31: haben. — S. 100 Z. 16: das zeigen. — S. 101 Z. 37: in der Bahn nichts entw. — S. 237 Z. 8: Brauchbarkeit; Z. 14: verdunkeln; Z. 17: Lauf.

Posen, gedruckt bei W. Decker & Comp.

Posen, gedruckt bei W. Decker & Comp.

Posen, gedruckt bei W. Decker & Com



Posen, gedruckt bei W. Decker & Comp.

Grundriß der Physik

nach ihrem gegenwärtigen Standpunkte

von

Ph. Spiller.

Mit 249 Figuren.

Posen,
in Commission bei E. S. Mittler.
Berlin,
in Commission bei E. S. Mittler & Sohn.

1853.

Posen, gedruckt bei W. Decker & Comp.

Physik